

Steven
D2
2-19-02

J1011 U.S. PTO
10/020951
12/19/01

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: **Masatoshi FUKUDA, et al.**

Serial No.: **Not Yet Assigned**

Filed: **December 19, 2001**

For: **SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD FOR FABRICATING THE SAME**

CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119

Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

December 19, 2001

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

Japanese Appln. No. 2000-394492, filed December 26, 2000

In support of this claim, the requisite certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicants have complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said certified copy.

In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,
ARMSTRONG, WESTERMAN, HATTORI
McLELAND & NAUGHTON, LLP



Stephen G. Adrian
Reg. No. 32,878

Atty. Docket No.: 011724
Suite 1000, 1725 K Street, N.W.
Washington, D.C. 20006
Tel: (202) 659-2930
Fax: (202) 887-0357
SGA/ll

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

J1011 U.S. PTO
10/020951
12/19/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年12月26日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-394492

出 願 人

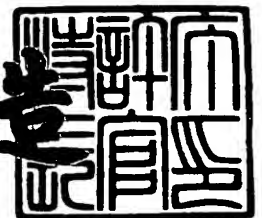
Applicant(s):

富士通株式会社

2001年 9月10日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3083145

【書類名】 特許願

【整理番号】 0040799

【提出日】 平成12年12月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 27/10 325

【発明の名称】 半導体装置及びその製造方法

【請求項の数】 10

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

【氏名】 福田 昌俊

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

【氏名】 角田 浩司

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100087479

【弁理士】

【氏名又は名称】 北野 好人

【選任した代理人】

【識別番号】 100114915

【弁理士】

【氏名又は名称】 三村 治彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003300

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0012600

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体装置及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体基板上に形成され、蓄積電極と、前記蓄積電極上に形成されたキャパシタ誘電体膜と、前記キャパシタ誘電体膜上に形成されたプレート電極とからなるキャパシタを有する半導体装置であって、

前記蓄積電極は、上端部が丸まっており、前記上端部の厚さが他の領域の厚さよりも厚い

ことを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】 請求項 1 記載の半導体装置において、
前記蓄積電極は、前記上端部に向かうほどに厚さが厚くなっている
ことを特徴とする半導体装置。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 記載の半導体装置において、
前記蓄積電極は、側面部がテーパ角度を有し、前記上端部に向かうほどに外周が広がっている
ことを特徴とする半導体装置。

【請求項 4】 請求項 1 又は 2 記載の半導体装置において、
前記蓄積電極は、円筒形状を有する
ことを特徴とする半導体装置。

【請求項 5】 請求項 4 記載の半導体装置において、
前記蓄積電極は、内側面と底面との間の境界部分が丸まっている
ことを特徴とする半導体装置。

【請求項 6】 半導体基板上に、絶縁膜を形成する工程と、
前記絶縁膜に開口部を形成する工程と、
前記半導体基板に電氣的に接続され、前記開口部内に形成された蓄積電極を形成する工程と、
前記蓄積電極の上端部に丸みをつけるための熱処理を行う工程と、
前記蓄積電極上に、キャパシタ誘電体膜を形成する工程と、
前記キャパシタ誘電体膜上に、プレート電極を形成する工程と

を有することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 7】 請求項 6 記載の半導体装置の製造方法において、
前記蓄積電極を形成する工程の後に、前記絶縁膜を除去する工程を更に有する
ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 8】 請求項 6 又は 7 記載の半導体装置の製造方法において、
前記蓄積電極を形成する工程では、前記開口部の少なくとも前記側面に沿って
形成されたライナー膜を介して前記蓄積電極を形成する
ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 9】 請求項 8 記載の半導体装置の製造方法において、
前記熱処理を行う工程の前に、前記絶縁膜の表面側から所定の量だけ前記ライ
ナー膜をエッチングする工程を更に有する
ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項 10】 請求項 6 又は 7 記載の半導体装置の製造方法において、
前記蓄積電極を形成する工程では、前記開口部の側面及び底部に沿って形成さ
れた円筒形状の前記蓄積電極を形成する
ことを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置及びその製造方法に係り、特に、円筒形状又は柱状の蓄
積電極を利用したキャパシタを有する半導体装置及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

DRAMは、1トランジスタ、1キャパシタで構成できる半導体記憶装置であ
り、従来より高密度・高集積化された半導体記憶装置を製造するための構造や製
造方法が種々検討されている。特に、DRAMにおけるキャパシタの構造は高集
積化に多大な影響を与えるため如何にして装置の高集積化を阻害せずに所望の蓄
積容量を確保するかが重要である。

【0003】

高集積化を図るためにはメモリセル面積を縮小することが不可欠であり、キャパシタの形成される面積をも小さくする必要がある。そこで、柱状や円筒形状の蓄積電極を利用したキャパシタを採用することにより高さ方向にキャパシタの表面積を広げ、キャパシタが形成される領域の床面積を増加することなく所望の蓄積容量を確保することが提案されている。

【 0 0 0 4 】

従来の半導体装置の製造方法について図 2 6 及び図 2 7 を用いて説明する。

【 0 0 0 5 】

まず、シリコン基板 2 0 0 上に、通常の MOS トランジスタの製造方法と同様にして、ゲート電極 2 0 4 及びソース／ドレイン拡散層 2 0 6 を有するメモリセルトランジスタを形成する（図 2 6（a））。

【 0 0 0 6 】

次いで、メモリセルトランジスタが形成されたシリコン基板 2 0 0 上に、例えば CVD 法によりシリコン酸化膜を堆積した後、例えば CMP 法によりその表面を研磨し、シリコン酸化膜よりなり表面が平坦化された層間絶縁膜 2 0 8 を形成する。

【 0 0 0 7 】

次いで、リソグラフィ技術及びエッチング技術により層間絶縁膜にソース／ドレイン拡散層に達するコンタクトホール 2 1 0 を形成する。

【 0 0 0 8 】

次いで、例えば CVD 法により導電膜を堆積した後、例えば CMP 法により層間絶縁膜の表面が露出するまでこの導電膜を研磨し、コンタクトホール 2 1 0 内に埋め込まれたプラグ 2 1 2 を形成する（図 2 6（b））。

【 0 0 0 9 】

次いで、プラグ 2 1 2 が埋め込まれた層間絶縁膜 2 0 8 上に、例えば CVD 法によりシリコン酸化膜を堆積し、シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜 2 1 4 を形成する。

【 0 0 1 0 】

次いで、リソグラフィ技術及びエッチング技術により、層間絶縁膜 2 1 4 に

、プラグ 2 1 2 を露出する開口部 2 1 6 を形成する。

【 0 0 1 1 】

次いで、全面に、例えば C V D 法によりルテニウム膜を堆積した後、例えば C M P 法により層間絶縁膜 2 1 4 の表面が露出するまでこのルテニウム膜を研磨し、開口部 2 1 6 の内壁及び底面に沿って形成されたルテニウム膜よりなる円筒形状の蓄積電極 2 1 8 を形成する（図 2 6 （c））。

【 0 0 1 2 】

次いで、円筒形状の蓄積電極 2 1 8 の内表面及び外表面を利用する、いわゆるシリンダ型キャパシタを形成する場合には、層間絶縁膜 2 1 4 を層間絶縁膜 2 0 8 に対して選択的に除去して蓄積電極 2 1 8 の外表面を露出した後、例えば C V D 法により、例えば Ta_2O_5 よりなるキャパシタ誘電体膜 2 2 0 と、例えばルテニウム膜よりなるプレート電極 2 2 2 とを堆積し、蓄積電極 2 1 8、キャパシタ誘電体膜 2 2 0、プレート電極 2 2 2 とからなるキャパシタを形成する（図 2 7 （a））。

【 0 0 1 3 】

或いは、円筒形状の蓄積電極の内表面のみを利用する、いわゆるコンケイブ型キャパシタを形成する場合には、層間絶縁膜 2 1 4 を除去することなく、例えば C V D 法により、例えば Ta_2O_5 よりなるキャパシタ誘電体膜 2 2 0 と、例えばルテニウム膜よりなるプレート電極 2 2 2 とを堆積し、蓄積電極 2 1 8、キャパシタ誘電体膜 2 2 0、プレート電極 2 2 2 とからなるキャパシタを形成する（図 2 7 （b））。

【 0 0 1 4 】

こうして、円筒形状の蓄積電極を利用したキャパシタを有する D R A M が製造されていた。

【 0 0 1 5 】

【発明が解決しようとする課題】

上記従来の半導体装置の製造方法では、層間絶縁膜 2 1 4 上の導電膜を C M P 法により除去することにより開口部 2 1 6 内に選択的に蓄積電極 2 1 8 を形成していたため、このように形成した蓄積電極 2 1 8 の上端部には図 2 8 （a）に示

すような角部が発生していた。特に、CMP法による研磨の際にディッシングが生じていると、蓄積電極218の内表面側が外表面側より削れやすいため、蓄積電極218の上端部には図28(b)に示すようなより鋭角な角部が発生していた。

【0016】

このように蓄積電極218の上端部に角部が発生すると、角部において電界が集中し、平面型の電極を形成した場合と比較してキャパシタ誘電体膜220の絶縁性が大幅に劣化することがあった。特に、角部が鋭角な場合、角部にはきわめて大きな電界が集中的に印加されるため、キャパシタ誘電体膜220が絶縁破壊されてしまうことがあった。

【0017】

本発明の目的は、柱状又は円筒形状の蓄積電極を利用したキャパシタを有する半導体装置において、蓄積電極上端部における電界集中を緩和してキャパシタの絶縁性を向上しうる半導体装置及びその製造方法を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】

本発明は、蓄積電極の形成後、キャパシタ誘電体膜の形成前に、蓄積電極の上端部の角部に丸みをつけるための熱処理を行うことに主たる特徴がある。

【0019】

金属膜を構成する材料の自発的な構造形成を促進させるように、金属膜を形成した後に融点より低い所定の温度で熱処理を行うと、結晶が再構成される。特に、金属膜の端部においては、表面エネルギーの少ない最も安定である球面形状に成形するように結晶の再構成が進行する。したがって、蓄積電極を形成した後に結晶の再構成が生じる温度よりも高い温度にて熱処理を行うことにより、蓄積電極の上端部の角部に丸みをつけることができる。

【0020】

蓄積電極の角部に丸みをつけるための熱処理の条件は、蓄積電極を構成する材料によって異なる。例えば、蓄積電極としてルテニウム膜を適用する場合、角部に丸みをつけるための熱処理は、酸素を含まない雰囲気中で、約300～750

℃の温度において行うことが望ましい。

【0021】

熱処理条件について本願発明者等が鋭意検討を行ったところ、酸素を含む雰囲気中において熱処理を行った場合には蓄積電極の角部が丸まらないが、酸素を含まない雰囲気中で熱処理を行った場合には蓄積電極の角部が丸まることが明らかとなった。そして、膜中の酸素について観察したところ、熱処理前の試料では膜中には僅かながら酸素が含まれていたが、蓄積電極の角部が丸みのついた熱処理後の試料ではこの酸素はほとんどなくなっていることが明らかとなった。

【0022】

このことから、熱処理によるルテニウム膜の結晶の再編成過程は、膜中に含まれる酸素に大きな関係があり、膜外に酸素が放出されることによりルテニウムの結晶の再編成が促進され、結晶粒径が大きくなるとともに、端部においては表面エネルギーの少ない球面形状に成形されるものと考えられる。

【0023】

したがって、熱処理を行う雰囲気としては、膜中の酸素を効率よく放出し膜中に酸素を取り込まない雰囲気、すなわち酸素を含まない、真空雰囲気、水素雰囲気、窒素などの不活性ガス雰囲気などが好適である。

【0024】

ルテニウムにおいては、約300℃以上の温度で結晶の再構成が生じる。したがって、蓄積電極の角部に丸みをつけるための熱処理温度は、少なくとも300℃以上に設定する必要がある。

【0025】

一方、熱処理温度が高すぎると、ルテニウムの結晶粒径が大きくなりすぎて下地膜が露出したり蓄積電極の形状が著しく変化するなど、蓄積電極として用いるに十分な形状をなさなくなる。また、DRAMにかかるサーマルバジェットを考慮する必要がある。したがって、熱処理温度の上限は、これらを考慮して適宜設定することが望ましい。

【0026】

熱処理温度の上限は、蓄積電極の初期形状によっても異なる。コンケイブ型や

柱状のキャパシタでは高温熱処理でも電極が変形しにくいため、熱処理温度を高温に設定することができる。他方、シリンダ型のキャパシタでは電極が変形しやすいため、高温の熱処理を行うと隣接する蓄積電極が互いに接触するなどの不具合が生じることがあり、熱処理温度の上限はコンケイブ型や柱状のキャパシタと比較して低温となる。炉を用いた熱処理の場合、シリンダ型キャパシタでは500～600℃の温度で10分～数時間程度の熱処理が実用的であり、コンケイブ型キャパシタでは550℃～700℃の温度で10分～数時間程度の熱処理が実用的である。

【 0 0 2 7 】

また、熱処理温度の上限は、熱処理方法によっても異なる。例えば、炉を用いて熱処理を行う場合、熱処理時間が長く、熱処理温度は比較的低温になる。一方、RTA (Rapid Thermal Annealing) 法を用いて熱処理を行う場合、短時間で比較的高温の熱処理が可能である。

【 0 0 2 8 】

実際には、熱処理温度の上限は、DRAMにかかるサーマルバジェットで決まると考えられる。キャパシタ工程では750℃程度の温度が上限であり、蓄積電極の角部に丸み付けをする熱処理においても、処理温度は高くとも750℃程度以下に設定することが望ましいと考えられる。

【 0 0 2 9 】

蓄積電極としてプラチナ膜を適用する場合についても、ルテニウム膜と同様の傾向がある。プラチナ膜を用いる場合、角部に丸みをつけるための熱処理は、酸素を含まない雰囲気中で、約300～750℃の温度において行うことが望ましい。

【 0 0 3 0 】

また、本願発明者等は詳細な検討を行っていないが、他の金属材料についても同様であると考えられる。

【 0 0 3 1 】

蓄積電極を覆うキャパシタ誘電体膜を形成した後に熱処理を行うと、蓄積電極の構造変化がキャパシタ誘電体膜に物理的なストレスを与え、却ってリーク電流

を増大する虞がある。したがって、蓄積電極の角部に丸みをつけるための熱処理は、蓄積電極の形成後、キャパシタ誘電体膜の形成前に行うことが望ましい。

【 0 0 3 2 】

蓄積電極の形成後、キャパシタ誘電体膜の形成前であっても、熱処理をする過程には様々な場合が考えられる。

【 0 0 3 3 】

まず、層間絶縁膜 1 1 4 に形成した開口部 1 1 6 内に蓄積電極 1 2 0 を形成する場合を考慮すると、(1) 開口部 1 1 6 の内壁及び底部に沿って直接形成する（図 1（a））、(2) 開口部 1 1 6 の内壁に形成されたライナー膜 1 1 8 を介して形成する（図 2（a））、(3) 開口部の内壁及び底部に沿って形成されたライナー膜 1 1 8 を介して形成する（図 3（a））、の 3 通りの形成方法が考えられる。(1)の方法は、蓄積電極 1 2 0 と層間絶縁膜 1 1 4 との密着性が比較的良好の場合、例えば酸素含有量の多いルテニウムを成膜する場合に適用することができる。(2)の方法は、蓄積電極 1 2 0 と層間絶縁膜 1 1 4 との密着性は不十分であっても蓄積電極 1 2 0 と下層プラグ 1 1 2 との密着性が十分である場合に適用することができる。(3)の方法は、蓄積電極 1 2 0 と層間絶縁膜 1 1 4 との密着性及び蓄積電極 1 2 0 と下層プラグ 1 1 2 との密着性が不十分である場合に適用することができる。なお、本明細書にいうライナー膜 1 1 8 とは、少なくとも蓄積電極 1 2 0 の外側面と層間絶縁膜 1 1 4 との間に形成され、下層プラグ 1 1 2 と蓄積電極 1 2 0 との物理的・電氣的密着性及びバリア性又は層間絶縁膜 1 1 4 と蓄積電極 1 2 0 との密着性を高め、シリンダ型キャパシタにあっては蓄積電極 1 2 0 を支える支持材として機能する膜をいうものとする。

【 0 0 3 4 】

ライナー膜 1 1 8 を設ける場合、ライナー膜 1 1 8 と蓄積電極 1 2 0 との密着性が強いとライナー膜 1 1 8 側において蓄積電極 1 2 0 は十分な構造変化を起こすことができない。したがって、熱処理に先立ち、蓄積電極 1 2 0 の本体構造に変化を与えない程度だけ上端部のライナー膜 1 1 8 を後退させておくことが望ましい（図 2（b）、図 3（b））。こうすることで、蓄積電極 1 2 0 の上端部における構造変化がライナー膜 1 1 8 に制限されることはない。このようにライナ

一膜 118 を後退させることにより蓄積電極 120 の上端部をより球面に近い形状にできるので、電界集中やリーク電流を低減することが期待できる。

【0035】

なお、ライナー膜 118 を設けない場合であっても、層間絶縁膜 114 と蓄積電極 120 との間の密着性が強い場合には、ライナー膜 118 の場合と同様に層間絶縁膜 114 の表面を僅かに後退させることにより、同様の効果を得ることができる（図 1（b））。

【0036】

シリンダ型キャパシタにおいては、層間絶縁膜 114 及びライナー膜 118 を除去して蓄積電極 120 の外側面を露出した後、熱処理を行うようにしてもよい（図 1（c）、図 2（d）、図 3（d））。ただし、蓄積電極 120 が高さが高いなど熱処理に伴う蓄積電極 120 の形状変化が著しい場合には、蓄積電極 120 を支える支持材としてライナー膜 118 を利用することが望ましい。この場合、蓄積電極 120 の構造変化に影響を与えない程度だけライナー膜 118 を後退した状態で熱処理を行い（図 2（c）、図 3（c））、その後外側面に残存するライナー膜を除去するようにすればよい（図 2（d）、図 3（d））。

【0037】

なお、ライナー膜 118 を後退させる際のエッチング量は、熱処理後における蓄積電極 120 上端部の曲率半径を d として、 $2d$ 以上とすることが望ましい。ライナー膜 118 を後退させる量をこのように設定することにより、蓄積電極 120 の構造変化がライナー膜 118 によって制限されるのを的確に防止することができる。或いは、ライナー膜 118 を後退させる際のエッチング量を蓄積電極 120 の膜厚の半分とほぼ等しい量に設定することにより、蓄積電極 120 の先端部分のみを丸めることができるので、電極材の幹部分の変形を抑制することができる。

【0038】

熱処理は、必ずしも一の過程のみで行う必要はなく、複数の過程において行ってもよい。例えば、図 3（c）に示す過程で熱処理を行った後、図 3（d）に示す過程で再度熱処理を行ってもよい。

【 0 0 3 9 】

熱処理後の蓄積電極 1 2 0 の形状は、ライナー膜 1 1 8 の有無、ライナー膜 1 1 8 の後退の有無、ライナー膜 1 1 8 の後退の量、熱処理を行う過程、熱処理温度、熱処理前の蓄積電極 1 2 0 の構造等の違いにより、様々に変化する。典型的な条件で熱処理を行った場合の蓄積電極 1 2 0 の形状は、例えば以下のようになる。

【 0 0 4 0 】

ライナー膜 1 1 8 を形成しない場合、或いは、ライナー膜 1 1 8 を形成するがライナー膜 1 1 8 を後退しない場合には、蓄積電極の形状は、層間絶縁膜 1 1 4 と蓄積電極 1 2 0 との密着性によって決定される。密着性が乏しい場合、図 4 (a) 、 (b) に示すように、上端部の角部が丸まる構造となる。密着性が強い場合には、図 4 (c) に示すように、層間絶縁膜 1 1 4 側の構造変化が制限され、内側面側の角部のみが丸まる構造となる。

【 0 0 4 1 】

ライナー膜 1 1 8 を蓄積電極 1 2 0 の厚さ程度後退した状態で熱処理を行った場合には、先端部の曲率半径は熱処理前の蓄積電極 1 2 0 の厚さの約半分程度となり、図 4 (a) に示すように、蓄積電極 1 2 0 は上端部の角部がとれて丸まる構造となる。ライナー膜 1 1 8 を蓄積電極 1 2 0 の膜厚よりも後退した状態で熱処理を行った場合には、先端部の曲率半径は熱処理前の蓄積電極 1 2 0 の厚さの約半分よりも大きくなり、図 4 (d) に示すように、角部がとれて丸まるとともに上端部の太さが他の部分よりも太い、先太りの構造となる。また、ライナー膜 1 1 8 をさらに除去して蓄積電極 1 2 0 の外側面を露出した後に熱処理を行った場合には、図 4 (f) に示すように、蓄積電極 1 2 0 の先端部分ほど太くなる先太り構造となる。また、熱処理前の蓄積電極 1 2 0 の厚さが上に行くほど薄くなっているような場合には、先端部分の下にくびれが入る構造となる (図 4 (e)) 。

【 0 0 4 2 】

また、開口部のテーパ角度によっては、図 4 (g) 、 (h) に示すように、蓄積電極 1 2 0 の先端部が内側面側に傾く形状となる。

【0043】

図5は、キャパシタ誘電体膜の膜厚に対する電極の曲率半径の比の電界集中への影響を理論計算によって求めた結果を示すグラフである。図中、点線は側面のみを電極面とする円筒形のキャパシタの場合を示し、実線は球形のキャパシタの場合を示している。シリンダ型キャパシタの場合、実線と点線に挟まれた領域に相当する。

【0044】

DRAMのような微細な構造に適用される高誘電体キャパシタでは、キャパシタ誘電体膜の膜厚は蓄積電極の膜厚の約半分程度であり、上端部を略球面形状とすることにより、キャパシタ誘電体膜の膜厚に対する電極の曲率半径の比は約1程度となる。したがって、図5から判るように、上端部を角部に丸みを付けて略球面形状とすることにより、電界集中は平面部と比較して1.5～2倍程度に抑えることができる。また、図4(d)に示すように先端部に略球面形状を有する先太り構造の場合、キャパシタ誘電体膜の膜厚に対する電極の曲率半径の比をさらに大きくすることができ、電界集中をさらに抑えることが可能となる。

【0045】

図6は、上記の電界集中の効果を考慮して、平面型キャパシタにおけるリーク電流の実測値からシリンダ型キャパシタのリーク電流を見積もったものである。図示するように、平面型キャパシタからシリンダ型キャパシタにすることで、電界集中の効果のみによってリーク電流が増加していることが判る。したがって、シリンダ型キャパシタでは、キャパシタ誘電体膜の膜厚に対する電極の曲率半径の比を以下にして大きくすることが重要であるかが判る。

【0046】

上述のように、図4(d)に示すように先端部に略球面形状を有する先太り構造は、蓄積電極120の厚みよりも大きな直径の略球面形状が先端部に形成されるため、電界集中を抑制する効果がきわめて高い。その反面、図7(a)に示すように、開口部116の内径を狭め、キャパシタ誘電体膜やプレート電極の形成が困難になる虞がある。このような場合、図7(b)に示すように、層間絶縁膜114に形成する開口部116を順テーパ形状とすることで、蓄積電極120が

先太りになることによる内径の縮小を防止することができる。

【0047】

なお、本願発明者等は、蓄積電極を形成した後に熱処理を行うと、蓄積電極120が内側面側に傾斜することを確認している。したがって、蓄積電極120の形成の際には、開口部116を順テーパ形状としておくことが望ましいと考えられる。開口部116を順テーパ形状にしておくことで、熱処理後の蓄積電極120の側壁部をほぼ垂直に近い状態に成形することができる。

【0048】

テーパ角度は、大きすぎると蓄積電極120の高さを十分に高くできないため、1度程度が好ましく、大きくても4度程度以下に設定することが望ましい。

【0049】

すなわち、上記目的は、半導体基板上に形成され、蓄積電極と、前記蓄積電極上に形成されたキャパシタ誘電体膜と、前記キャパシタ誘電体膜上に形成されたプレート電極とからなるキャパシタを有する半導体装置であって、前記蓄積電極は、上端部が丸まっており、前記上端部の厚さが他の領域の厚さよりも厚いことを特徴とする半導体装置によって達成される。

【0050】

また、上記目的は、半導体基板上に、絶縁膜を形成する工程と、前記絶縁膜に開口部を形成する工程と、前記半導体基板に電氣的に接続され、前記開口部内に形成された蓄積電極を形成する工程と、前記蓄積電極の上端部に丸みをつけるための熱処理を行う工程と、前記蓄積電極上に、キャパシタ誘電体膜を形成する工程と、前記キャパシタ誘電体膜上に、プレート電極を形成する工程を有することを特徴とする半導体装置の製造方法によっても達成される。

【0051】

【発明の実施の形態】

〔第1実施形態〕

本発明の第1実施形態による半導体装置及びその製造方法について図8乃至図18を用いて説明する。

【0052】

図 8 は本実施形態による半導体装置の構造を示す平面図、図 9 は本実施形態による半導体装置の構造を示す概略断面図、図 1 0 乃至図 1 8 は本実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

【 0 0 5 3 】

はじめに、本実施形態による半導体装置の構造について図 8 及び図 9 を用いて説明する。なお、図 9 は、図 8 の B - B' 線断面に沿った概略断面図である。

【 0 0 5 4 】

シリコン基板 1 0 上には、素子領域を画定する素子分離膜 1 2 が形成されている。素子領域上には、ゲート電極 2 0 とソース／ドレイン拡散層 2 4、2 6 とを有するメモリセルトランジスタが形成されている。ゲート電極 2 0 は、図 8 に示すように、ワード線を兼ねる導電膜としても機能する。メモリセルトランジスタが形成されたシリコン基板 1 0 上には、ソース／ドレイン拡散層 2 4 に接続されたプラグ 3 6 及びソース／ドレイン拡散層 2 6 に接続されたプラグ 3 8 とが埋め込まれた層間絶縁膜 3 0 が形成されている。

【 0 0 5 5 】

層間絶縁膜 3 0 上には、層間絶縁膜 4 0 が形成されている。層間絶縁膜 4 0 上には、プラグ 3 6 を介してソース／ドレイン拡散層 2 4 に接続されたビット線 4 8 が形成されている。ビット線 4 8 は、図 8 に示すように、ワード線（ゲート電極 2 0）と交わる方向に延在して複数形成されている。ビット線 4 8 が形成された層間絶縁膜 4 0 上には、層間絶縁膜 5 8 が形成されている。層間絶縁膜 5 8 には、プラグ 3 8 に接続されたプラグ 6 2 が埋め込まれている。

【 0 0 5 6 】

層間絶縁膜 5 8 上には、エッチングストッパ膜 6 4、層間絶縁膜 6 6 及びエッチングストッパ膜 6 8 が形成されている。エッチングストッパ膜 6 8 上には、エッチングストッパ膜 6 8、層間絶縁膜 6 6、エッチングストッパ膜 6 4 を貫きプラグ 6 2 に接続され、エッチングストッパ膜 6 8 上に突出して形成されたシリンダ状の蓄積電極 7 6 が形成されている。蓄積電極 7 6 の上端部は角部に丸みが付けられた略球面形状になっている。蓄積電極 7 6 上には、キャパシタ誘電体膜 7 8 を介してプレート電極 8 8 が形成されている。

【 0 0 5 7 】

プレート電極 8 8 上には、層間絶縁膜 9 0 が形成されている。層間絶縁膜 9 0 上には、プラグ 9 6 を介してプレート電極 8 8 に接続され、或いは、プラグ 9 8 を介してビット線 4 8 に接続された配線層 1 0 0 が形成されている。配線層 1 0 0 が形成された層間絶縁膜 9 0 上には、層間絶縁膜 1 0 2 が形成されている。

【 0 0 5 8 】

こうして、1 トランジスタ、1 キャパシタよりなるメモリセルを有する D R A M が構成されている。

【 0 0 5 9 】

このように、本実施形態による半導体装置は、シリンダ型のキャパシタにおいて、蓄積電極 7 6 が、上端部の角部に丸みが付けられた略球面形状を有する構造となっていることに主たる特徴がある。このようにして半導体装置を構成することにより、蓄積電極 7 6 の上端部における電界集中を緩和し、リーク電流の増加やキャパシタ誘電体膜の絶縁破壊を防止することができる。

【 0 0 6 0 】

次に、本実施形態による半導体装置の製造方法について図 1 0 乃至図 1 8 を用いて説明する。なお、図及び図は図 8 の A - A' 線断面における工程断面図を表し、図乃至図は、図 8 の B - B' 線断面における工程断面図を表している。

【 0 0 6 1 】

まず、シリコン基板 1 0 の主表面上に、例えば、S T I (Shallow Trench Isolation) 法により、素子分離膜 1 2 を形成する (図 1 0 (a))。例えば、まず、シリコン基板 1 0 上に膜厚 1 0 0 n m のシリコン窒化膜 (図示せず) を形成する。次いで、このシリコン窒化膜を、素子領域となる領域に残存するようにパターニングする。次いで、パターニングしたシリコン窒化膜をハードマスクとしてシリコン基板 1 0 をエッチングし、シリコン基板 1 0 に例えば深さ 2 0 0 n m の素子分離溝を形成する。次いで、例えば C V D 法によりシリコン酸化膜を全面に堆積した後、シリコン窒化膜が露出するまでこのシリコン酸化膜を C M P (化学的機械的研磨: Chemical Mechanical Polishing) 法により研磨し、素子分離溝内に選択的にシリコン酸化膜を残存させる。この後、シリコン窒化膜を除去し、

シリコン基板 1 0 の素子分離溝に埋め込まれたシリコン酸化膜よりなる素子分離膜 1 2 を形成する。

【 0 0 6 2 】

次いで、メモリセル領域のシリコン基板 1 0 中に P ウェル（図示せず）を形成し、しきい値電圧制御のためのイオン注入を行う。

【 0 0 6 3 】

次いで、素子分離膜 1 2 により画定された複数の素子領域上に、例えば熱酸化法により、例えば膜厚 5 n m のシリコン酸化膜よりなるゲート絶縁膜 1 4 を形成する。なお、ゲート絶縁膜 1 4 としては、シリコン窒化酸化膜などの他の絶縁膜を適用してもよい。

【 0 0 6 4 】

次いで、ゲート絶縁膜 1 4 上に、例えばポリシリコン膜 1 6 とタングステン膜 1 8 との積層膜よりなるポリメタル構造のゲート電極 2 0 を形成する（図 1 0 （ b ））。例えば、膜厚 7 0 n m のポリシリコン膜 1 6 と、膜厚 5 n m のタングステンナイトライド（WN）膜（図示せず）と、膜厚 4 0 n m のタングステン膜 1 8 と、膜厚 2 0 0 n m のシリコン窒化膜 2 2 とを順次堆積した後、リソグラフィ技術及びエッチング技術によりこれら膜を同一の形状にパターニングし、上面がシリコン窒化膜 2 2 で覆われ、タングステンナイトライド膜を介してポリシリコン膜 1 6 及びタングステン膜 1 8 が積層されてなるポリメタル構造のゲート電極 2 0 を形成する。なお、ゲート電極 2 0 は、ポリメタル構造に限られるものではなく、ポリゲート構造、ポリサイド構造、或いは、金属ゲート等を適用してもよい。

【 0 0 6 5 】

次いで、ゲート電極 2 0 をマスクとしてイオン注入を行い、ゲート電極 2 0 の両側のシリコン基板 1 0 中にソース／ドレイン拡散層 2 4 、 2 6 を形成する。

【 0 0 6 6 】

こうして、シリコン基板 1 0 上に、ゲート電極 2 0 、ソース／ドレイン拡散層 2 4 、 2 6 を有するメモリセルトランジスタを形成する。

【 0 0 6 7 】

次いで、全面に、例えばCVD法により、例えば膜厚35nmのシリコン窒化膜を堆積した後にエッチバックし、ゲート電極20及びシリコン窒化膜22の側壁にシリコン窒化膜よりなるサイドウォール絶縁膜28を形成する(図10(c)、図12(a))。

【0068】

次いで、全面に、例えばCVD法により例えばBPSG膜を堆積した後、リフロー法及びCMP法等により、シリコン窒化膜18が露出するまでその表面を研磨し、表面が平坦化されたBPSG膜よりなる層間絶縁膜30を形成する。

【0069】

次いで、リソグラフィ技術及びエッチング技術により、層間絶縁膜30に、ソース/ドレイン拡散層24に達するスルーホール32と、ソース/ドレイン拡散層26に達するコンタクトホール34とを、ゲート電極20及びサイドウォール絶縁膜28に対して自己整合的に形成する(図10(d)、図12(b))。

【0070】

次いで、層間絶縁膜30に開口されたコンタクトホール32、34内に、プラグ36、38をそれぞれ埋め込む(図11(a)、図12(c))。例えば、CVD法により、砒素ドーピングした多結晶シリコン膜を堆積した後、CMP法によりシリコン窒化膜22が露出するまで研磨し、コンタクトホール32、34内のみが多結晶シリコン膜よりなるプラグ36、38を選択的に残存させる。

【0071】

次いで、全面に、例えばCVD法により、例えば膜厚200nmのシリコン酸化膜を堆積し、シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜40を形成する。

【0072】

次いで、リソグラフィ技術及びエッチング技術により、プラグ36に達するコンタクトホール42を層間絶縁膜40に形成する(図11(b)、図12(d))。

【0073】

次いで、層間絶縁膜40上に、コンタクトホール42を介してプラグ36に接続されたビット線48を形成する(図11(c)、図13(a))。例えば、ま

ず、スパッタ法により、膜厚 4 5 n m の窒化チタン (T i N) / チタン (T i) の積層構造よりなる密着層 5 0 と、膜厚 2 5 0 n m のタングステン (W) 膜 5 1 とを順次堆積する。次いで、CMP 法によりタングステン膜 5 1 を研磨し、コンタクトホール 4 2 内にタングステン膜 5 1 よりなるプラグを埋め込む。次いで、スパッタ法により、膜厚 3 0 n m のタングステン膜 5 2 を堆積する。次いで、C V D 法により、タングステン膜 5 2 上に、膜厚 2 0 0 n m のシリコン窒化膜 5 4 を堆積する。次いで、リソグラフィ技術及びエッチング技術により、シリコン窒化膜 5 4、タングステン膜 5 2 及び密着層 5 0 をパターンニングし、上面がシリコン窒化膜 5 4 に覆われ、密着層 5 0 及びタングステン膜 5 2 よりなり、プラグ 3 6 を介してソース/ドレイン拡散層 2 4 に接続されたビット線 4 8 を形成する。

【 0 0 7 4 】

次いで、全面に、例えば C V D 法により、例えば膜厚 2 0 n m のシリコン窒化膜を堆積した後にエッチバックし、ビット線 4 8 及びシリコン窒化膜 5 4 の側壁に、シリコン窒化膜よりなるサイドウォール絶縁膜 5 6 を形成する (図 1 3 (b))。

【 0 0 7 5 】

次いで、全面に、例えば C V D 法により、例えば膜厚 4 0 0 n m のシリコン酸化膜を堆積し、CMP 法によりその表面を研磨し、表面が平坦化されたシリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜 5 8 を形成する。

【 0 0 7 6 】

次いで、リソグラフィ技術及びエッチング技術により、層間絶縁膜 5 8、4 0 に、プラグ 3 8 に達するコンタクトホール 6 0 を形成する (図 1 3 (c))。このとき、シリコン窒化膜に対して高い選択比をもつエッチング条件でシリコン酸化膜をエッチングすることにより、ビット線 4 8 上を覆うシリコン窒化膜 5 4 及びビット線 4 8 の側壁に形成されたサイドウォール絶縁膜 5 6 に自己整合でコンタクトホール 6 0 を開口することができる。

【 0 0 7 7 】

次いで、全面に、例えばスパッタ法により、膜厚 2 5 n m の窒化チタン/チタ

ンの積層構造よりなる密着層と、膜厚 2 5 0 n m のタングステン膜とを堆積した後、層間絶縁膜 5 8 の表面が露出するまで CMP 法により研磨し、コンタクトホール 6 0 内に埋め込まれたプラグ 6 2 を形成する（図 1 4 （a））。

【 0 0 7 8 】

次いで、全面に、例えば C V D 法により、例えば膜厚 4 0 n m 程度のシリコン窒化膜を堆積し、シリコン窒化膜よりなるエッチングストッパ膜 6 4 を形成する。

【 0 0 7 9 】

次いで、エッチングストッパ膜 6 4 上に、例えば C V D 法により、例えば膜厚 1 0 0 n m のシリコン酸化膜を堆積し、シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜 6 6 を形成する。

【 0 0 8 0 】

次いで、層間絶縁膜 6 6 上に、例えば C V D 法により、例えば膜厚 4 0 n m 程度のシリコン窒化膜を堆積し、シリコン窒化膜よりなるエッチングストッパ膜 6 8 を形成する。

【 0 0 8 1 】

次いで、エッチングストッパ膜 6 8 上に、例えば C V D 法により、例えば膜厚 6 0 0 n m のシリコン酸化膜を堆積し、シリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜 7 0 を形成する（図 1 4 （b））。

【 0 0 8 2 】

次いで、リソグラフィ技術及びエッチング技術により、層間絶縁膜 7 0 、エッチングストッパ膜 6 8 、層間絶縁膜 6 6 、エッチングストッパ膜 6 4 をパターンニングし、蓄積電極の形成予定領域に、これら膜を貫いてプラグ 6 2 に達する開口部 7 2 を形成する（図 1 5 （a））。このとき、開口部 7 2 の側面が、例えば 3 度程度のテーパ角度を有する形状となるように、これら膜をパターンニングする。

【 0 0 8 3 】

次いで、全面に、例えば C V D 法により、膜厚 1 0 n m の窒化チタン膜を堆積する。

【0084】

次いで、窒化チタン膜上に、膜厚40nmのルテニウム(Ru)膜を堆積する。例えば、スパッタ法により膜厚約10nmのシード層を形成した後、CVD法により膜厚約30nmのルテニウム膜を堆積し、トータル膜厚40nmのルテニウム膜を形成する。CVDによる成膜では、例えば、成膜温度を300℃、圧力を0.05 Torr、ルテニウム源としてのRu(EtCp)₂の流量を0.06 cc、O₂ガス流量を160 sccmとしてルテニウム膜を成膜する。

【0085】

次いで、フォトレジスト膜(図示せず)を塗布し、窒化チタン膜及びルテニウム膜が形成された開口部72内を埋め込む。

【0086】

次いで、例えばCMP法及び反応性イオンエッチング法により、層間絶縁膜70の表面が露出するまでフォトレジスト膜、ルテニウム膜及び窒化チタン膜を研磨するとともに、開口部72内のフォトレジスト膜を除去し、開口部72の内壁に沿って形成され、窒化チタン膜よりなるライナー膜74と、ルテニウム膜よりなる蓄積電極76とを形成する(図15(b))。

【0087】

なお、蓄積電極76を構成するための導電膜は、後に形成するキャパシタ誘電体膜78との相性に応じて適宜選択する。例えば、キャパシタ誘電体膜78としてTa₂O₅のような誘電体膜を用いる場合には、蓄積電極76としてルテニウム、酸化ルテニウム(RuO_x)、タングステン、窒化タングステン、ポリシリコン、窒化チタンなどを用いることができる。また、キャパシタ誘電体78としてBST(BaSrTiO_x)やST(SrTiO_x)のような誘電体膜を用いる場合には、蓄積電極76としてはプラチナ(Pt)、Ru、RuO_x、W、SRO(SrRuO₃)などを用いることができる。更に、キャパシタ誘電体膜74としてPZTのような誘電体膜を用いる場合には、蓄積電極62としてPtなどを用いることができる。その他、酸化チタン(TiO_x)、アルミナ(Al₂O₃)、SBT(SrBiTiO_x)などの誘電体膜を用いる場合にも、これら誘電体膜との相性に応じて適宜選択すればよい。

【0088】

また、本実施形態において、ライナー膜74は、プラグ62と蓄積電極76との密着性を高めるための膜であり、プラグ62と蓄積電極76との密着性が十分な場合には必ずしも形成する必要はない。また、図2に示すように開口部72の側壁部分のみに形成してもよく、この場合には、例えばシリコン窒化膜や酸化タantalなどの絶縁膜を用いることもできる。ライナー膜74の有無及びそれを構成するための材料は、層間絶縁膜、プラグ62、蓄積電極76に対する密着性を考慮したうえで適宜選択することが望ましい。

【0089】

次いで、例えば弗酸水溶液を用いたウェットエッチングなどの等方性エッチングにより、エッチングストッパ膜68をストッパとして、層間絶縁膜70を選択的にエッチングする(図16(a))。

【0090】

次いで、ライナー膜74を、例えば硫酸と過酸化水素とを含む水溶液により、蓄積電極76、エッチングストッパ膜68、層間絶縁膜66に対して選択的にエッチングする(図16(b))。このエッチングは、ライナー膜74と後に形成するキャパシタ誘電体膜78との相性が悪い場合を考慮したものであり、ライナー膜74と蓄積電極76との相性がよい場合には、必ずしもライナー膜74を除去する必要はない。ライナー膜74のエッチングは、少なくともエッチングストッパ膜68と蓄積電極76との間に間隙が形成されるまで行うことが望ましい。なお、キャパシタ誘電体膜との相性に基づいて密着層を除去する技術については、例えば、同一出願人による特願平10-315370号明細書に詳述されている。

【0091】

次いで、蓄積電極76の上端部の角部に丸みをつけるための熱処理を行い、蓄積電極76の上端部を略球面形状に成形する。例えば、圧力1 Torrの水素と窒素を含む雰囲気中で、540℃の熱処理を行うことにより、蓄積電極76を構成するルテニウムの結晶を再構成し、蓄積電極76の上端部の角部に丸みをつける。

【0092】

この熱処理により、蓄積電極76の上端部の角部が略球面形状に成形されるとともに、蓄積電極76の全体的な形状も、開口部72のテーパ角度を反映したテーパ形状からほぼ垂直の形状に変化する（図17（a））。

【0093】

次いで、全面に、例えばCVD法により、例えば膜厚10～30nmの Ta_2O_5 膜或いはBST膜を堆積し、 Ta_2O_5 或いはBSTよりなるキャパシタ誘電体膜78を形成する。

【0094】

次いで、全面に、例えばCVD法により、例えば膜厚30～50nmのルテニウム膜を堆積し、ルテニウム膜よりなるプレート電極88を形成する。例えば、スパッタ法により膜厚約10nmのシード層を形成した後、CVD法によりルテニウム膜を堆積し、所定の膜厚のルテニウム膜を形成する。CVDによる成膜では、例えば、成膜温度を300℃、圧力を0.05 Torr、ルテニウム源としての $Ru(EtCp)_2$ の流量を0.06cc、 O_2 ガス流量を160sccmとしてルテニウム膜を成膜する。

【0095】

次いで、リソグラフィ技術及びエッチング技術により、プレート電極88及びキャパシタ誘電体膜78をパターニングし、周辺回路領域のプレート電極88及びキャパシタ誘電体膜78を除去する（図17（b））。

【0096】

次いで、全面に、例えばCVD法により、例えば膜厚1000nmのシリコン酸化膜を堆積し、CMP法によりその表面を研磨し、表面が平坦化されたシリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜90を形成する。

【0097】

次いで、層間絶縁膜90上に、コンタクトホール92内に埋め込まれたプラグ96を介してプレート電極88に接続され、或いは、コンタクトホール94内に埋め込まれたプラグ98を介してビット線48に接続された配線層100を形成する（図18）。

【 0 0 9 8 】

こうして、1 トランジスタ、1 キャパシタよりなるメモリセルを有する D R A M を製造することができる。

【 0 0 9 9 】

このように、本実施形態によれば、シリンダ型のキャパシタにおいて、蓄積電極を、角部に丸みが付けられた略球面形状に成形するので、蓄積電極の上端部における電界集中を緩和し、リーク電流の増加やキャパシタ誘電体膜の絶縁破壊を防止することができる。

【 0 1 0 0 】

〔第2実施形態〕

本発明の第2実施形態による半導体装置及びその製造方法について図19乃至図22を用いて説明する。なお、図8乃至図18に示す第1実施形態による半導体装置と同様の構成要素には同一の符号を付し説明を省略し或いは簡略にする。

【 0 1 0 1 】

図19は本実施形態による半導体装置の構造を示す概略断面図、図20乃至図22は本実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図である。

【 0 1 0 2 】

はじめに、本実施形態による半導体装置の構造について図17を用いて説明する。なお、本実施形態による半導体装置の構造は、平面的には図8に示す第1実施形態による半導体装置と同じであり、図19は図8のB-B'線断面に沿った概略断面図である。

【 0 1 0 3 】

シリコン基板10上には、素子領域を画定する素子分離膜12が形成されている。素子領域上には、ゲート電極20とソース/ドレイン拡散層24、26とを有するメモリセルトランジスタが形成されている。ゲート電極20は、図8に示すように、ワード線を兼ねる導電膜としても機能する。メモリセルトランジスタが形成されたシリコン基板10上には、ソース/ドレイン拡散層24に接続されたプラグ36及びソース/ドレイン拡散層26に接続されたプラグ38とが埋め込まれた層間絶縁膜30が形成されている。

【0104】

層間絶縁膜30上には、層間絶縁膜40が形成されている。層間絶縁膜40上には、プラグ36を介してソース/ドレイン拡散層24に接続されたビット線48が形成されている。ビット線48は、図8に示すように、ワード線（ゲート電極20）と交わる方向に延在して複数形成されている。ビット線48が形成された層間絶縁膜40上には、層間絶縁膜58が形成されている。層間絶縁膜58には、プラグ38に接続されたプラグ62が埋め込まれている。

【0105】

層間絶縁膜58上には、エッチングストッパ膜64、層間絶縁膜66及びエッチングストッパ膜68、層間絶縁膜70が形成されている。層間絶縁膜70には、層間絶縁膜70、エッチングストッパ膜68、層間絶縁膜66、エッチングストッパ膜64を貫きプラグ62に達する開口部72が形成されている。開口部72内には、その内壁及び底部に沿って、ライナー膜74及び蓄積電極が形成されている。蓄積電極76の上端部の形状は、略球面形状になっている。蓄積電極76上には、キャパシタ誘電体膜78を介してプレート電極88が形成されている。

【0106】

プレート電極88上には、層間絶縁膜90が形成されている。層間絶縁膜90上には、プラグ96を介してプレート電極88に接続され、或いは、プラグ98を介してビット線48に接続された配線層100が形成されている。配線層100が形成された層間絶縁膜90上には、層間絶縁膜102が形成されている。

【0107】

こうして、1トランジスタ、1キャパシタよりなるメモリセルを有するDRAMが構成されている。

【0108】

このように、本実施形態による半導体装置は、コンケイブ型のキャパシタにおいて、蓄積電極76が、上端部の角部に丸みが付けられた略球面形状を有する先太りの構造となっていることに主たる特徴がある。このようにして半導体装置を構成することにより、蓄積電極76の上端部における電界集中を緩和し、リーク

電流の増加やキャパシタ誘電体膜の絶縁破壊を防止することができる。

【0109】

次に、本実施形態による半導体装置の製造方法について図20乃至図22を用いて説明する。なお、図20乃至図22は、図8のB-B'線断面における工程断面図を表している。

【0110】

まず、例えば図10(a)乃至図11(c)並びに図12(a)乃至図15(b)に示す第1実施形態による半導体装置の製造方法と同様にして、層間絶縁膜70、エッチングストッパ膜68、層間絶縁膜66、エッチングストッパ膜64を貫き、プラグ62に達する開口部72内に、その内壁及び底部に沿って形成されたライナー膜74及び蓄積電極76を形成する(図20(a))。

【0111】

次いで、ライナー膜74を、例えば硫酸と過酸化水素とを含む水溶液により、蓄積電極76、エッチングストッパ膜68、層間絶縁膜66に対して選択的にエッチングし、層間絶縁膜70の表面から約40nm後退させる(図20(b))。

【0112】

次いで、蓄積電極76の上端部の角部に丸みをつけるための熱処理を行い、蓄積電極76の上端部を略球面形状の先太り構造に成形する(図21(a))。例えば、圧力1Torrの水素と窒素とを含む雰囲気中で、540℃の熱処理を行うことにより、蓄積電極76を構成するルテニウムの結晶を再構成し、蓄積電極76の上端部の角部に丸みをつける。

【0113】

図23は、熱処理前後における蓄積電極76の形状を示す断面SEM写真である。図示するように、形成直後ではディッシングにより内側面側が窪み、外側面側に鋭角の角部が存在しているが(図23(a))、熱処理後ではこの角部に丸みが付き略球面形状の先太り構造に成形されている(図23(b))。また、熱処理後では、底面と側面との境界部の形状にも丸みがついている。

【0114】

次いで、全面に、例えばCVD法により、例えば膜厚10～30nmの Ta_2O_5 膜或いはBST膜を堆積し、 Ta_2O_5 或いはBSTよりなるキャパシタ誘電体膜78を形成する。

【0115】

次いで、全面に、例えばCVD法により、例えば膜厚30～50nmのルテニウム膜を堆積し、ルテニウム膜よりなるプレート電極88を形成する。例えば、スパッタ法により膜厚約10nmのシード層を形成した後、CVD法によりルテニウム膜を堆積し、所定の膜厚のルテニウム膜を形成する。CVDによる成膜では、例えば、成膜温度を300℃、圧力を0.05Torr、ルテニウム源としての $Ru(EtCp)_2$ の流量を0.06cc、 O_2 ガス流量を160sccmとしてルテニウム膜を成膜する。

【0116】

次いで、リソグラフィ技術及びエッチング技術により、プレート電極88及びキャパシタ誘電体膜78をパターニングし、周辺回路領域のプレート電極88及びキャパシタ誘電体膜78を除去する(図21(b))。

【0117】

次いで、全面に、例えばCVD法により、例えば膜厚1000nmのシリコン酸化膜を堆積し、CMP法によりその表面を研磨し、表面が平坦化されたシリコン酸化膜よりなる層間絶縁膜90を形成する。

【0118】

次いで、層間絶縁膜90上に、コンタクトホール92内に埋め込まれたプラグ96を介してプレート電極88に接続され、或いは、コンタクトホール94内に埋め込まれたプラグ98を介してビット線48に接続された配線層100を形成する(図22)。

【0119】

こうして、1トランジスタ、1キャパシタよりなるメモリセルを有するDRAMを製造することができる。

【0120】

図24は、蓄積電極に丸みを付ける熱処理を行った試料と行わなかった試料と

におけるキャパシタのリーク電流特性を示すグラフである。図示するように、熱処理を行うことによりリーク電流が低減されており、この熱処理によって電極上端部における電界集中が緩和されることを確認できた。

【 0 1 2 1 】

このように、本実施形態によれば、コンケイブ型のキャパシタにおいて、蓄積電極を、角部に丸みが付けられた略球面形状を有する先太りの構造に成形するので、蓄積電極の上端部における電界集中を緩和し、リーク電流の増加やキャパシタ誘電体膜の絶縁破壊を防止することができる。

【 0 1 2 2 】

〔変形実施形態〕

本発明は上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。

【 0 1 2 3 】

例えば、上記第 1 実施形態では、ライナー膜 7 4 を除去して蓄積電極 7 6 の外側面を露出した後に熱処理を行っているが、図 2 (b) 或いは図 2 (c) に示すようにライナー膜の上端部を後退した状態で熱処理を行うようにしてもよい。また、熱処理は一回に限られるものではなく、これら過程において複数回の熱処理を行ってもよい。

【 0 1 2 4 】

また、上記第 2 実施形態では、蓄積電極の厚さの半分以上のライナー膜を後退した後に熱処理を行い、先太り構造の蓄積電極に成形しているが、ライナー膜を後退せず、蓄積電極の内側面側の角部のみに丸みを付けてもよい。また、蓄積電極の厚さの半分程度のライナー膜を後退した後に熱処理を行い、蓄積電極の厚さの半分程度の曲率半径を有するように丸みを付けてもよい。

【 0 1 2 5 】

熱処理の過程及び熱処理後の蓄積電極の形状は、例えば図 1 乃至図 4 に示すように、適宜選択することができる。

【 0 1 2 6 】

また、上記第 1 実施形態ではシリンダ型キャパシタを有する半導体装置に本発明を適用した一例を、上記第 2 実施形態ではコンケイブ型キャパシタを有する半

導体装置に本発明を適用した一例を示したが、本発明はシリンダ型キャパシタやコンケイプ型キャパシタに限定されるものではない。

【 0 1 2 7 】

例えば、柱状の蓄積電極 7 6 を利用したピラー型キャパシタを有する半導体装置において蓄積電極 7 6 の上端部の角部を丸めるようにしてもよいし（図 2 5）、厚膜スタック型キャパシタを有する半導体装置において蓄積電極の上端部の角部を丸めるようにしてもよい。

【 0 1 2 8 】

ピラー型キャパシタの場合、例えば第 1 実施形態による半導体装置の製造方法における図 1 5（b）に示す工程において、開口部 7 2 を埋め込むように蓄積電極 7 6 を形成し、その後、角部に丸みを付ける熱処理を行うようにすればよい。また、厚膜スタック型キャパシタの場合、蓄積電極となるルテニウム膜をパターニングした後、角部に丸みを付ける熱処理を行うようにすればよい。

【 0 1 2 9 】

また、上記実施形態では、蓄積電極としてルテニウム膜を適用した例を示したが、本発明はルテニウム膜に限られるものではない。例えば、ルテニウムと同じ貴金属材料であるプラチナを蓄積電極に適用した場合にも、上記実施形態に記載したと同様の効果を得ることができる。

【 0 1 3 0 】

また、上記実施形態では、DRAM に本発明を適用した場合について説明したが、円筒形状の蓄積電極を利用したキャパシタを有する半導体装置に広く適用することができる。例えば、強誘電体キャパシタの分極反転特性を利用した記憶装置として強誘電体メモリが知られているが、本発明を強誘電体メモリに適用することにより、強誘電体メモリにおいても本明細書に記載したと同様の効果を得ることができる。

【 0 1 3 1 】

【発明の効果】

以上の通り、本発明によれば、柱状又は円筒形状の蓄積電極を利用したキャパシタを有する半導体装置において、蓄積電極の上端部を、角部に丸みが付けられ

た略球面形状に成形するので、蓄積電極の上端部における電界集中を緩和し、リーク電流の増加やキャパシタ誘電体膜の絶縁破壊を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

蓄積電極の角部に丸みをつけるための熱処理を行う過程を説明する図（その1）である。

【図2】

蓄積電極の角部に丸みをつけるための熱処理を行う過程を説明する図（その2）である。

【図3】

蓄積電極の角部に丸みをつけるための熱処理を行う過程を説明する図（その3）である。

【図4】

熱処理後の蓄積電極の上端部の形状を示す図である。

【図5】

キャパシタ誘電体膜の膜厚に対する電極の曲率半径の比の電界集中への影響を理論計算によって求めた結果を示すグラフである。

【図6】

平面型キャパシタにおけるリーク電流の実測値から見積もったシリンダ型キャパシタのリーク電流を示すグラフである。

【図7】

開口部をテーパ形状とすることによる効果を説明する図である。

【図8】

本発明の第1実施形態による半導体装置の構造を示す平面図である。

【図9】

本発明の第1実施形態による半導体装置の構造を示す概略断面図である。

【図10】

本発明の第1実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その1）である。

【図 1 1】

本発明の第 1 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 2）である。

【図 1 2】

本発明の第 1 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 3）である。

【図 1 3】

本発明の第 1 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 4）である。

【図 1 4】

本発明の第 1 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 5）である。

【図 1 5】

本発明の第 1 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 6）である。

【図 1 6】

本発明の第 1 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 7）である。

【図 1 7】

本発明の第 1 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 8）である。

【図 1 8】

本発明の第 1 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 9）である。

【図 1 9】

本発明の第 2 実施形態による半導体装置の構造を示す概略断面図である。

【図 2 0】

本発明の第 2 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 1）である。

【図 2 1】

本発明の第 2 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 2）である。

【図 2 2】

本発明の第 2 実施形態による半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 3）である。

【図 2 3】

熱処理前後における蓄積電極の形状を示す断面 SEM 写真である。

【図 2 4】

蓄積電極に丸みを付ける熱処理を行った試料と行わなかった試料とにおけるキャパシタのリーク電流特性を示すグラフである。

【図 2 5】

本発明の実施形態の変形例による半導体装置の構造を示す概略断面図である。

【図 2 6】

従来の半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 1）である。

【図 2 7】

従来の半導体装置の製造方法を示す工程断面図（その 2）である。

【図 2 8】

従来の半導体装置における課題を説明する図である。

【符号の説明】

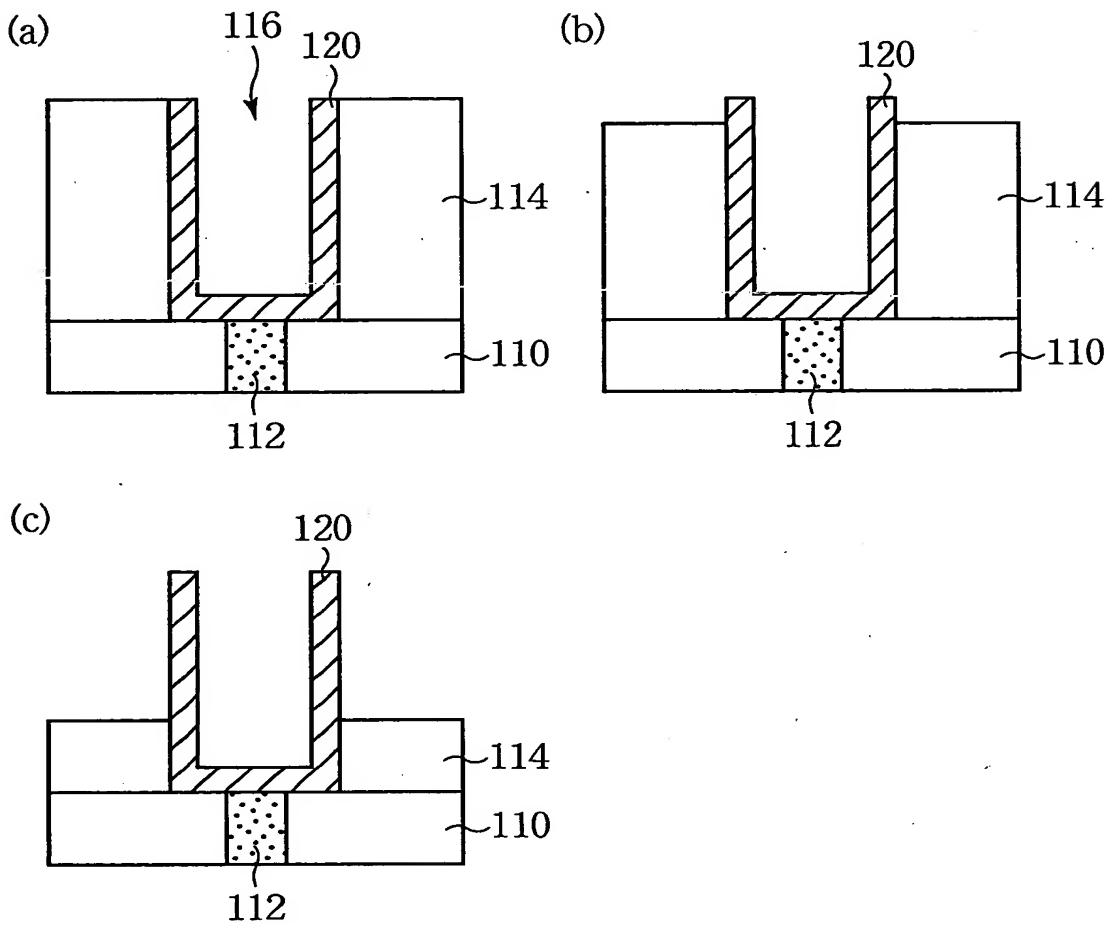
- 1 0 … シリコン基板
- 1 2 … 素子分離膜
- 1 4 … ゲート絶縁膜
- 1 6 … 多結晶シリコン膜
- 1 8 … タングステン膜
- 2 0 … ゲート電極
- 2 2、5 4 … シリコン窒化膜
- 2 4、2 6 … ソース／ドレイン拡散層
- 2 8、5 6 … サイドウォール絶縁膜

3 0、4 0、5 8、6 6、7 0、9 0、1 0 2…層間絶縁膜
3 2、3 4、6 0、9 2、9 4…コンタクトホール
3 6、3 8、6 2、9 6、9 8…プラグ
4 8…ビット線
5 0…密着層
5 2…タングステン膜
6 4、6 8…エッチングストッパ膜
7 2…開口部
7 4…ライナー膜
7 6…蓄積電極
7 8…キャパシタ誘電体膜
8 8…プレート電極
1 0 0…配線層
1 1 0、1 1 4…層間絶縁膜
1 1 2…プラグ
1 1 6…開口部
1 1 8…ライナー膜
1 2 0…蓄積電極
2 0 0…シリコン基板
2 0 2…素子分離膜
2 0 4…ゲート電極
2 0 6…ソース／ドレイン拡散層
2 0 8、2 1 4…層間絶縁膜
2 1 0…コンタクトホール
2 1 2…プラグ
2 1 6…開口部
2 1 8…蓄積電極
2 2 0…キャパシタ誘電体膜
2 2 2…プレート電極

【書類名】 図面

【図 1】

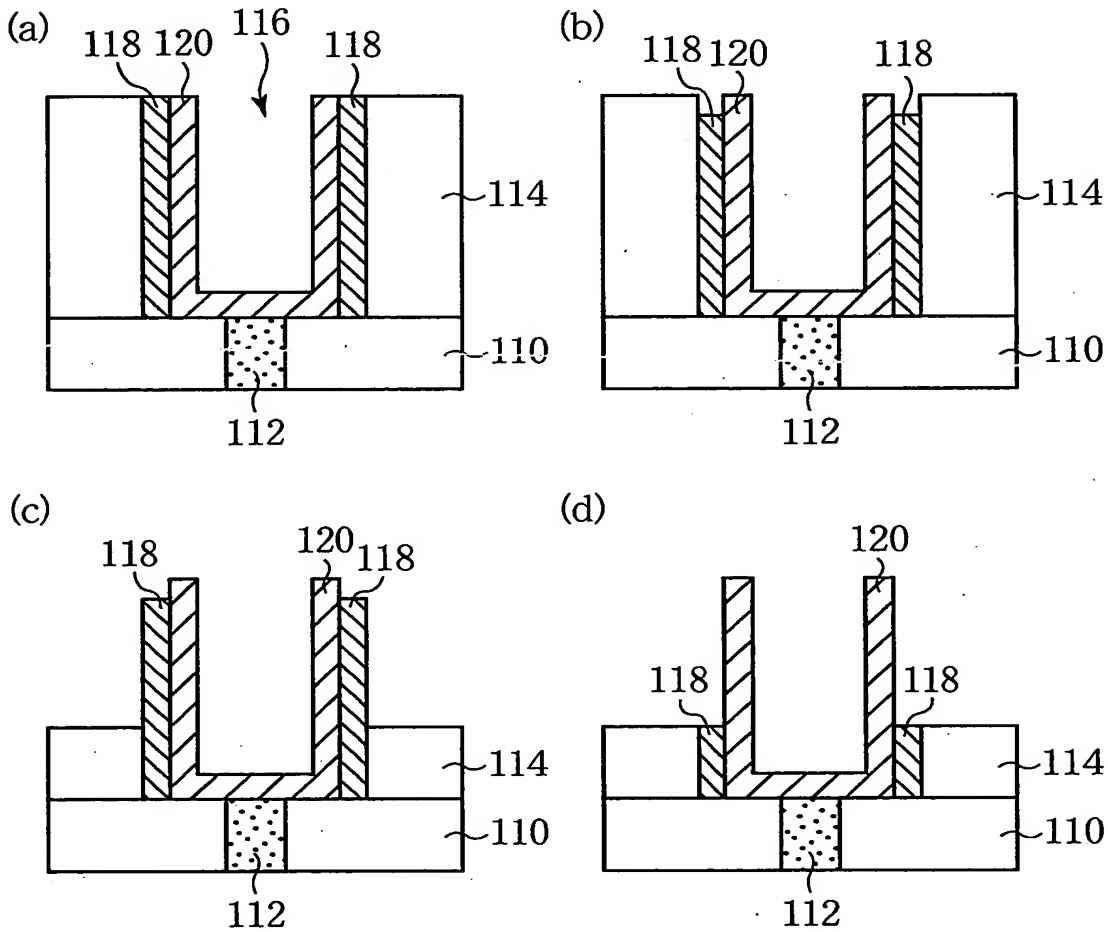
蓄積電極の角部に丸みをつけるための熱処理を行う過程を
説明する図(その1)



110、114…層間絶縁膜
112…プラグ
116…開口部
120…蓄積電極

【図 2】

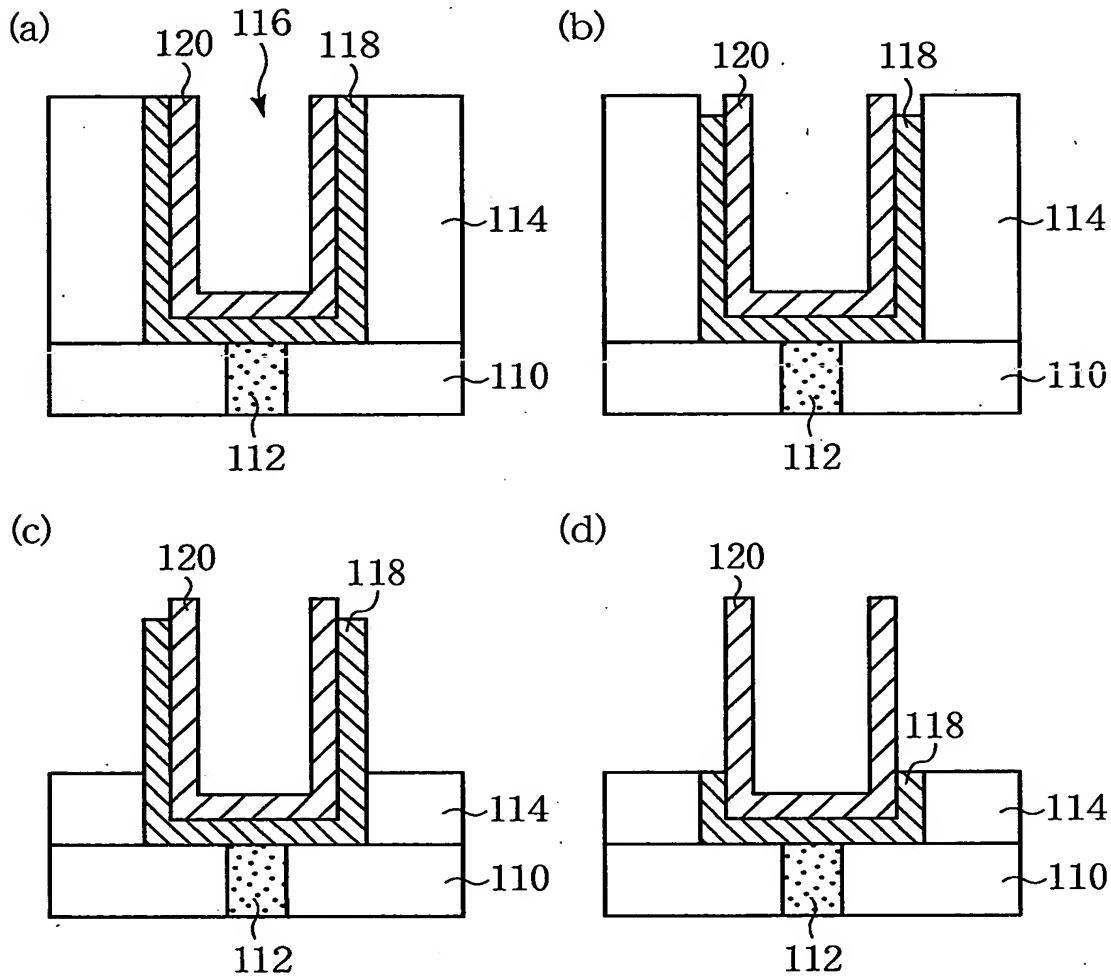
蓄積電極の角部に丸みをつけるための熱処理を行う過程を
説明する図(その2)



110、114…層間絶縁膜
112…プラグ
116…開口部
118…ライナー膜
120…蓄積電極

【図 3】

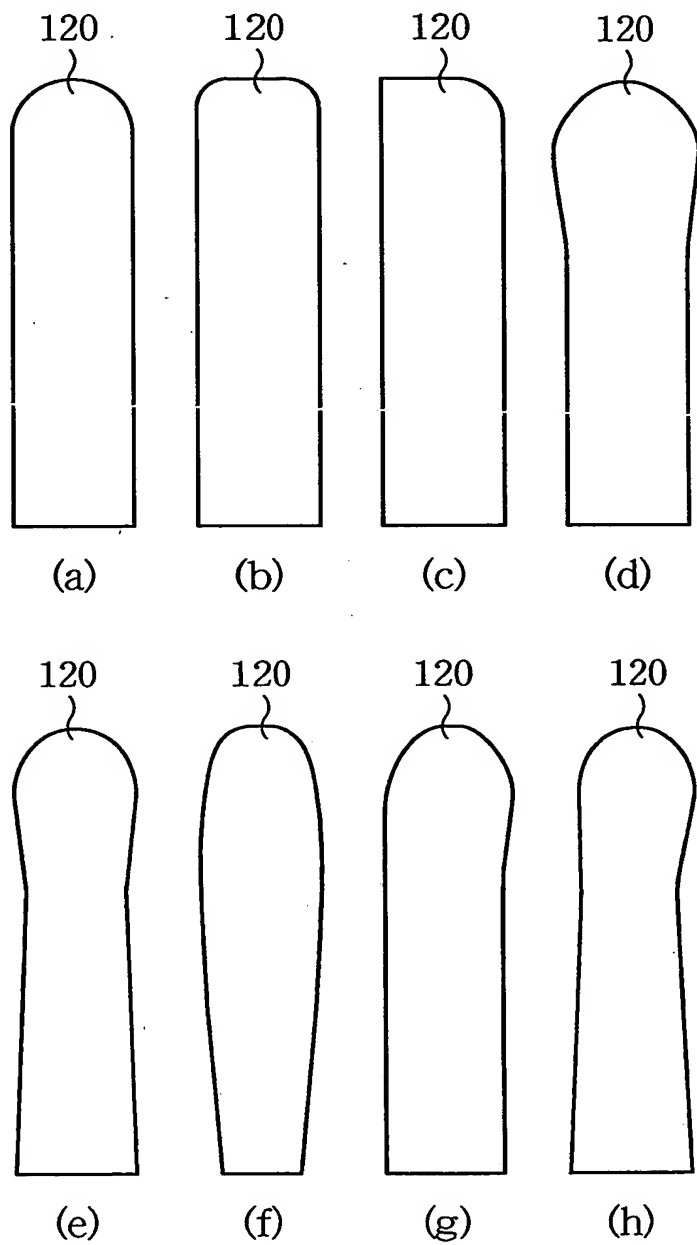
蓄積電極の角部に丸みをつけるための熱処理を行う過程を
説明する図(その3)



110、114…層間絶縁膜
112…プラグ
116…開口部
118…ライナー膜
120…蓄積電極

【図 4】

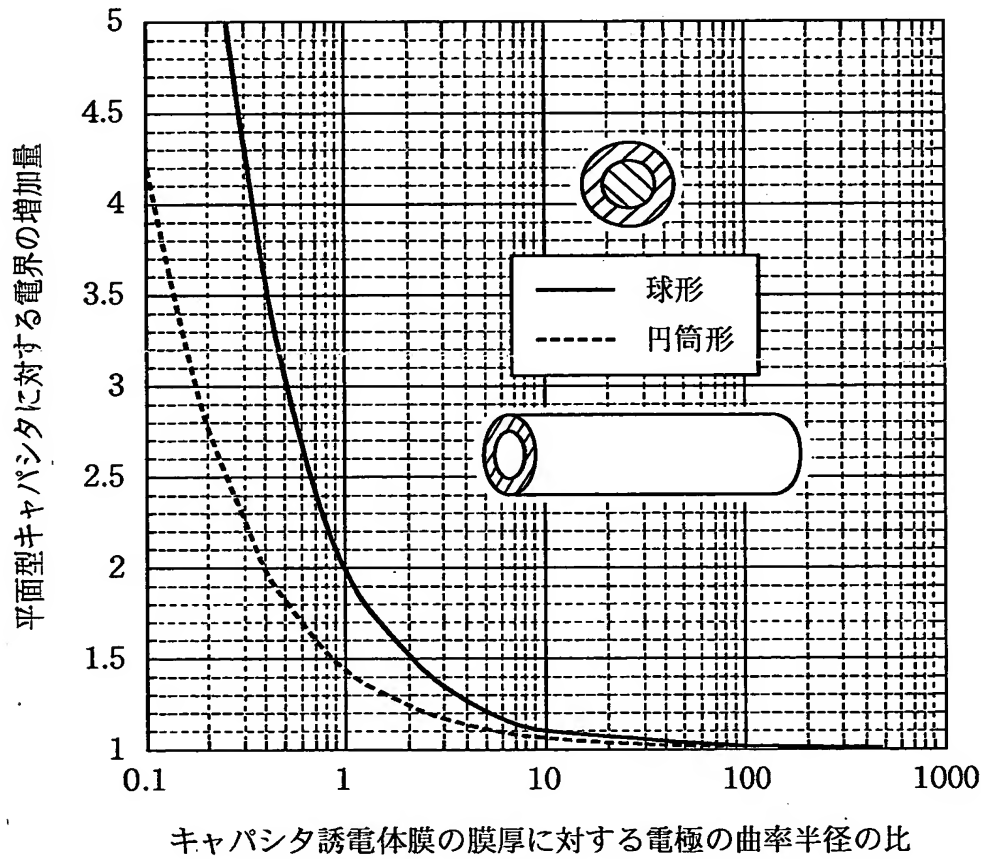
熱処理後の蓄積電極の上端部の形状を示す図



120…蓄積電極

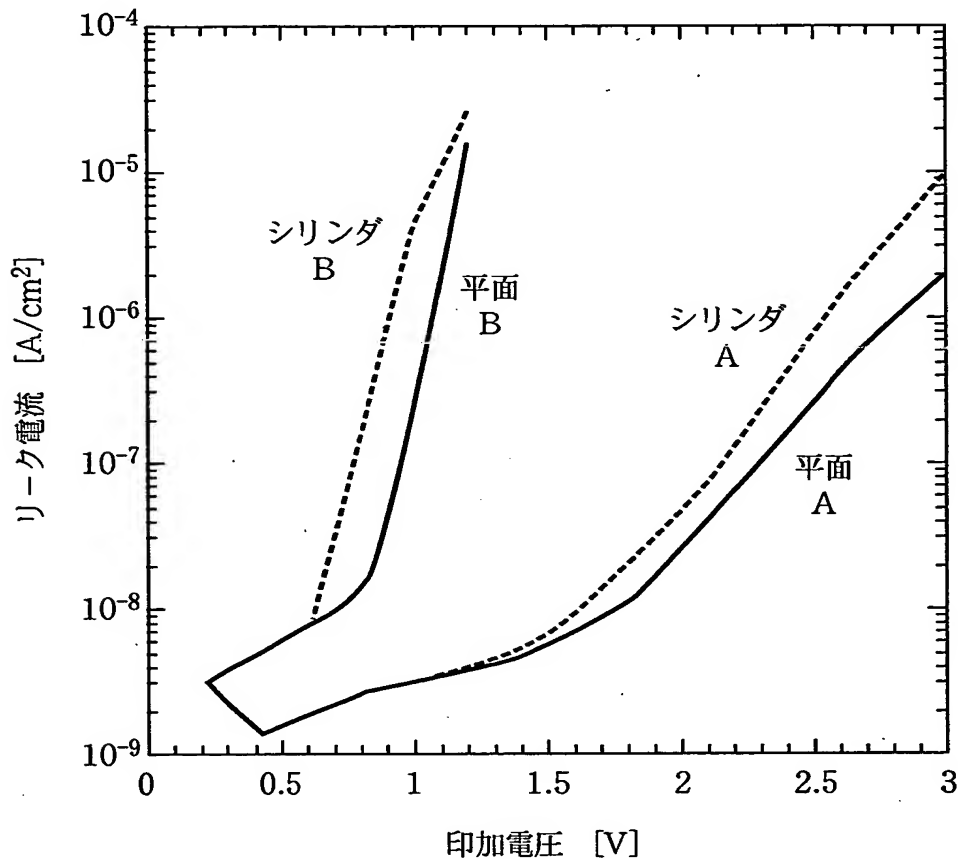
【図 5】

キャパシタ誘電体膜の膜厚に対する電極の曲率半径の比の電界集中への影響を理論計算によって求めた結果を示すグラフ



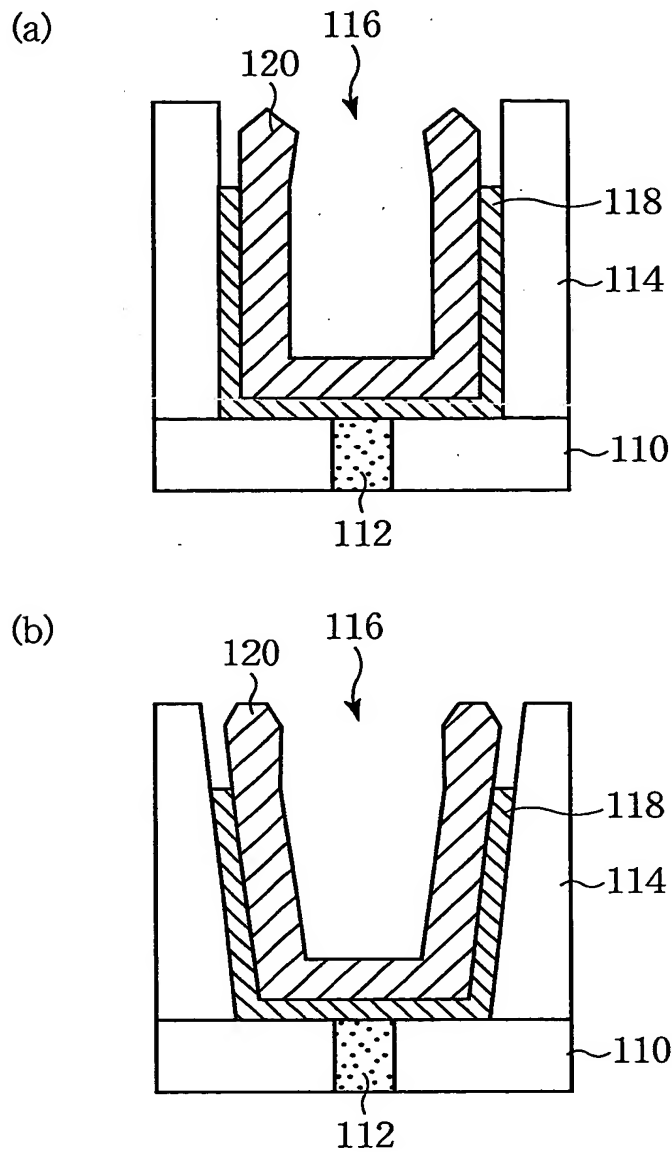
【図 6】

平面型キャパシタにおけるリーク電流の実測値から見積もった
シリンダ型キャパシタのリーク電流を示すグラフ



【図 7】

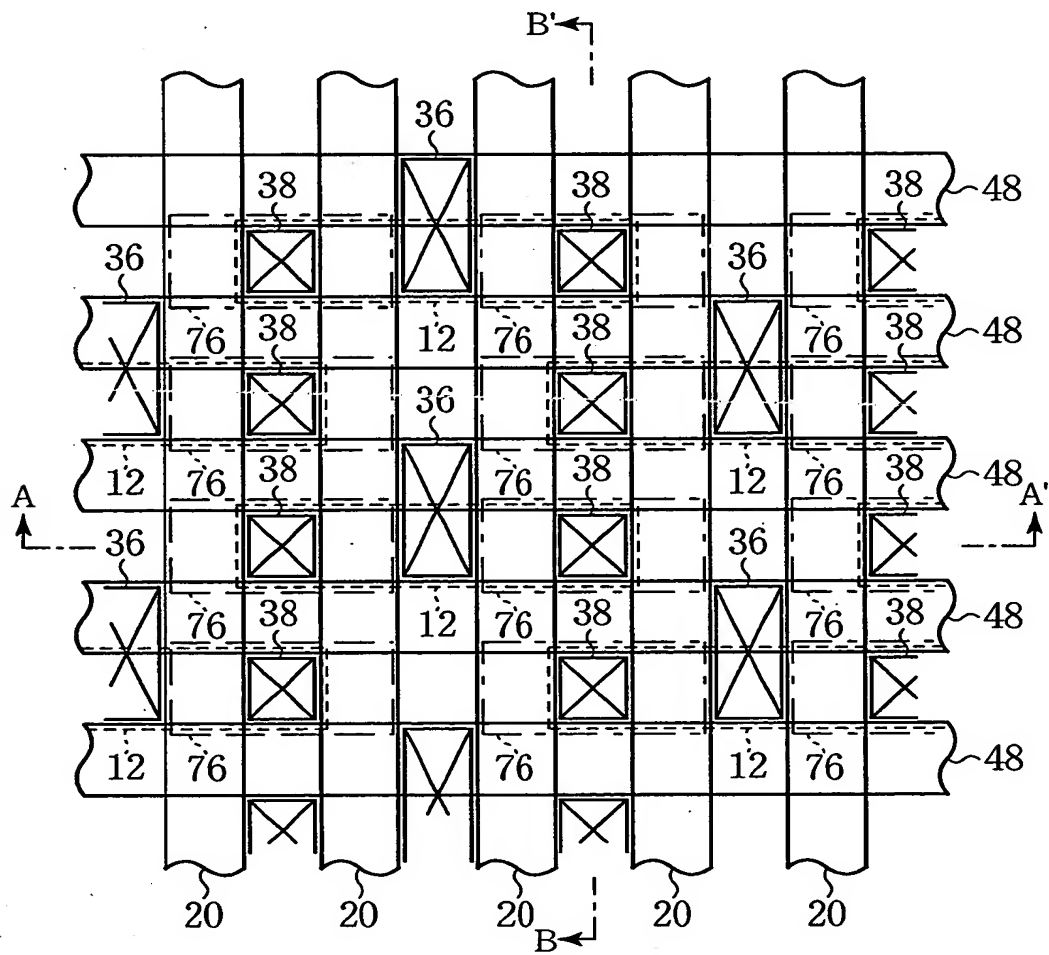
開口部をテーパ形状とすることによる効果を説明する図



110、114…層間絶縁膜
 112…プラグ
 116…開口部
 118…ライナー膜
 120…蓄積電極

【図 8】

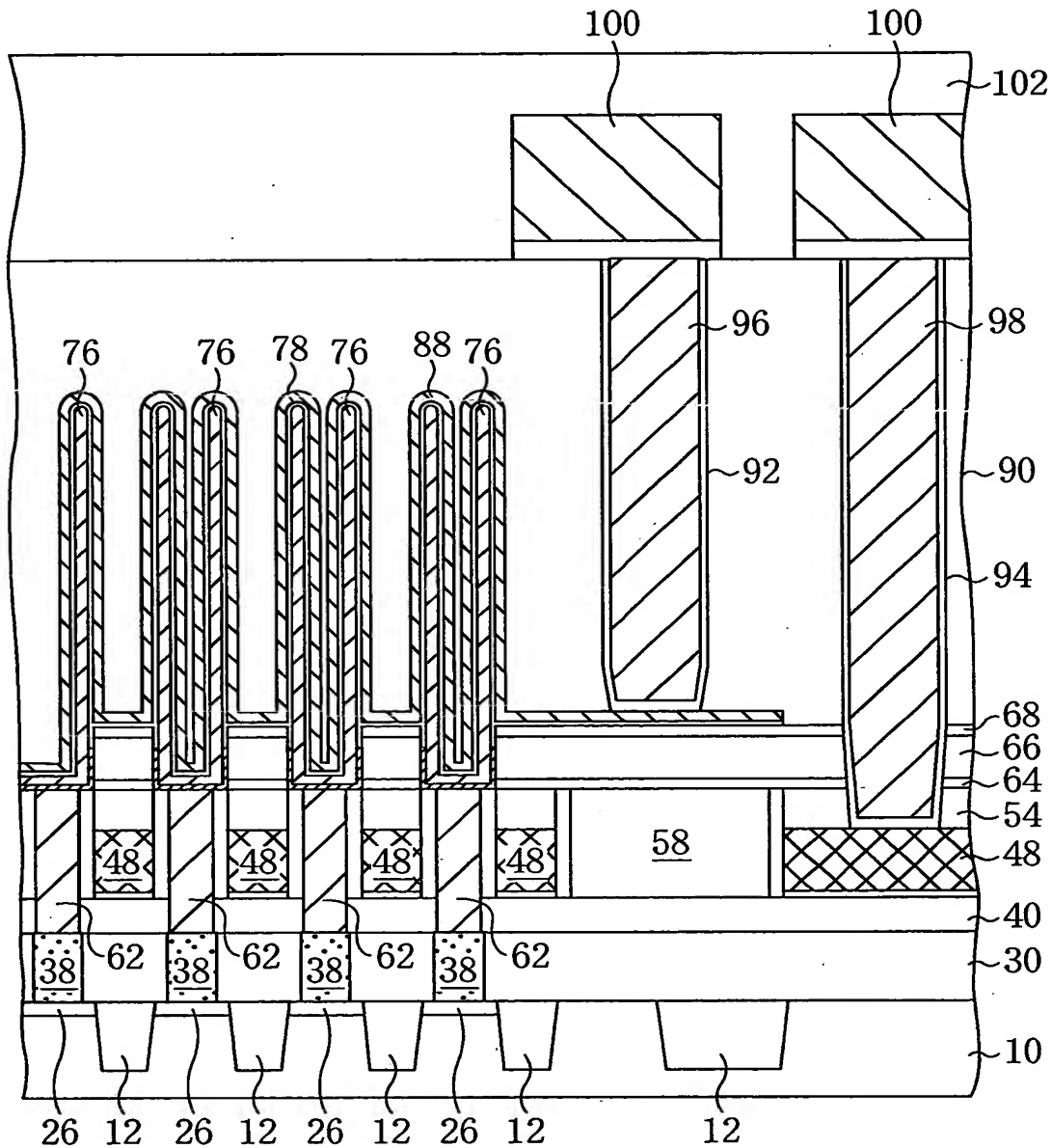
本発明の第1実施形態による半導体装置の構造を示す平面図



- 12…素子分離膜
- 20…ゲート電極
- 36、38…プラグ
- 48…ビット線
- 76…蓄積電極

【図 9】

本発明の第1実施形態による半導体装置の構造を示す概略断面図

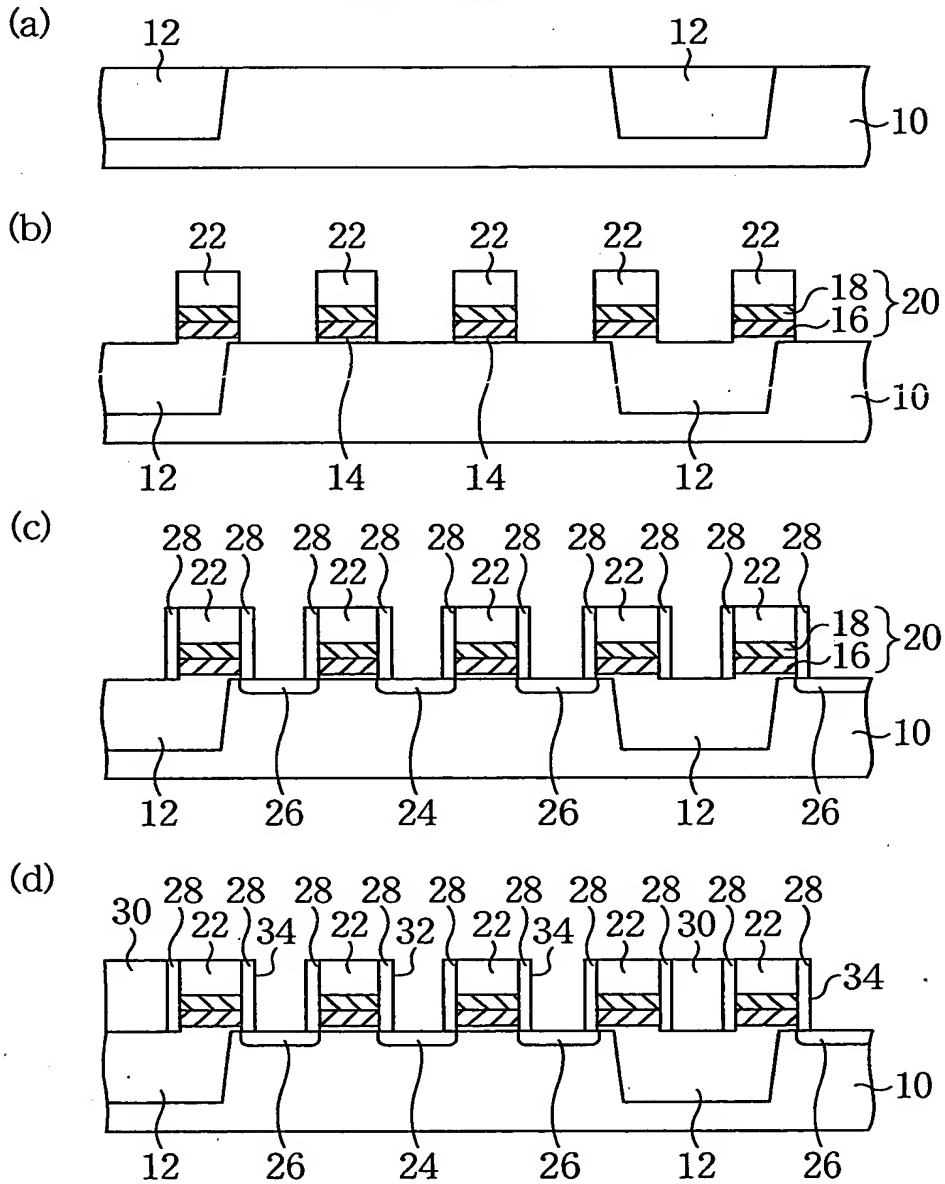


10…シリコン基板
12…素子分離膜
54…シリコン窒化膜
26…ソース/ドレイン拡散層
38、62、96、98…プラグ
48…ビット線

64、68…エッチングストップ膜
76…蓄積電極
78…キャパシタ誘電体膜
88…プレート電極
92、94…コンタクトホール
100…配線層

【図 1 0】

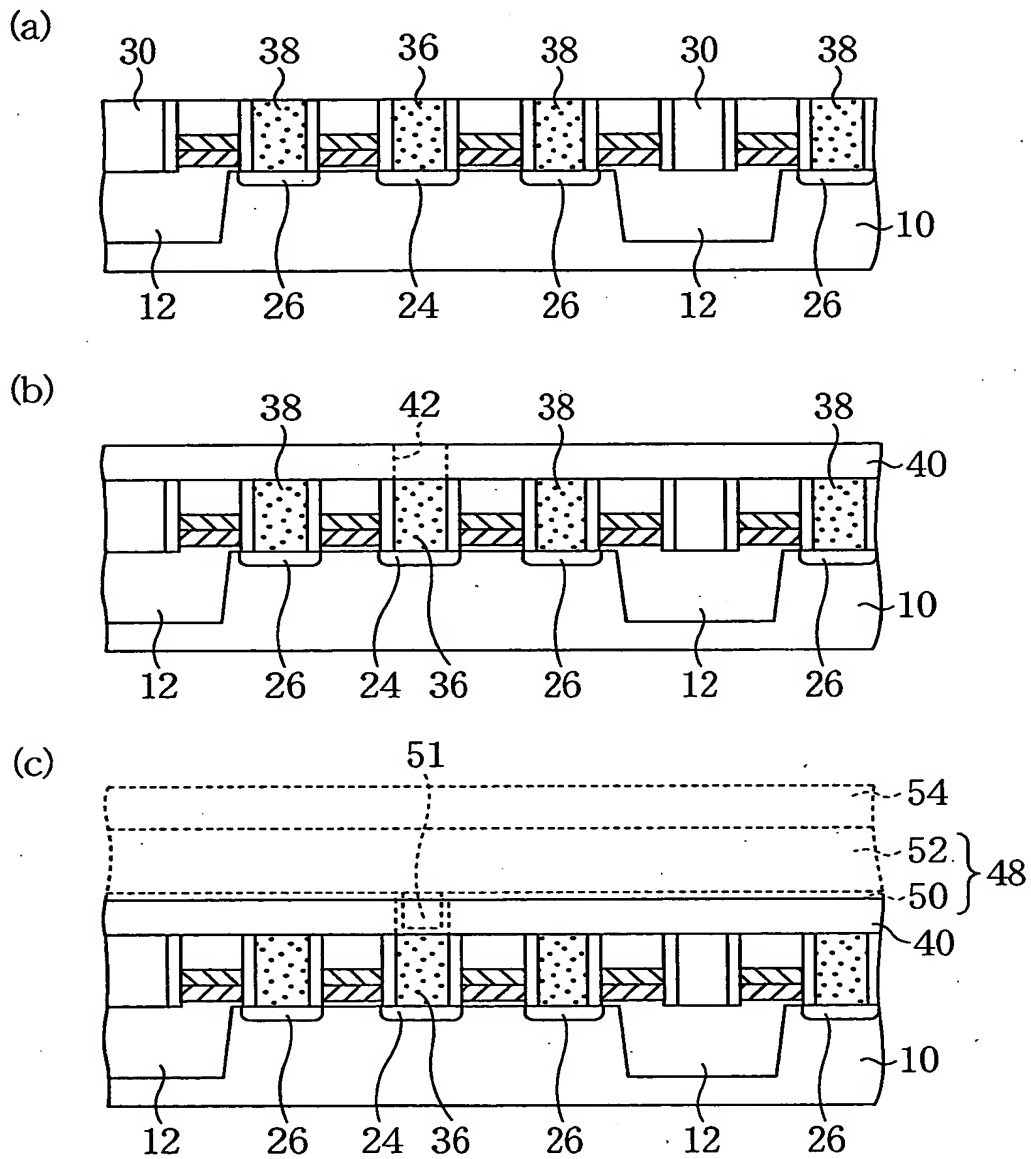
本発明の第1実施形態による半導体装置の製造方法を示す
工程断面図(その1)



- | | |
|-------------|-------------------|
| 10…シリコン基板 | 22…シリコン窒化膜 |
| 12…素子分離膜 | 24、26…ソース/ドレイン拡散層 |
| 14…ゲート絶縁膜 | 28…サイドウォール絶縁膜 |
| 16…多結晶シリコン膜 | 30…層間絶縁膜 |
| 18…タンガステン膜 | 32、34…コンタクトホール |
| 20…ゲート電極 | |

【図 1 1】

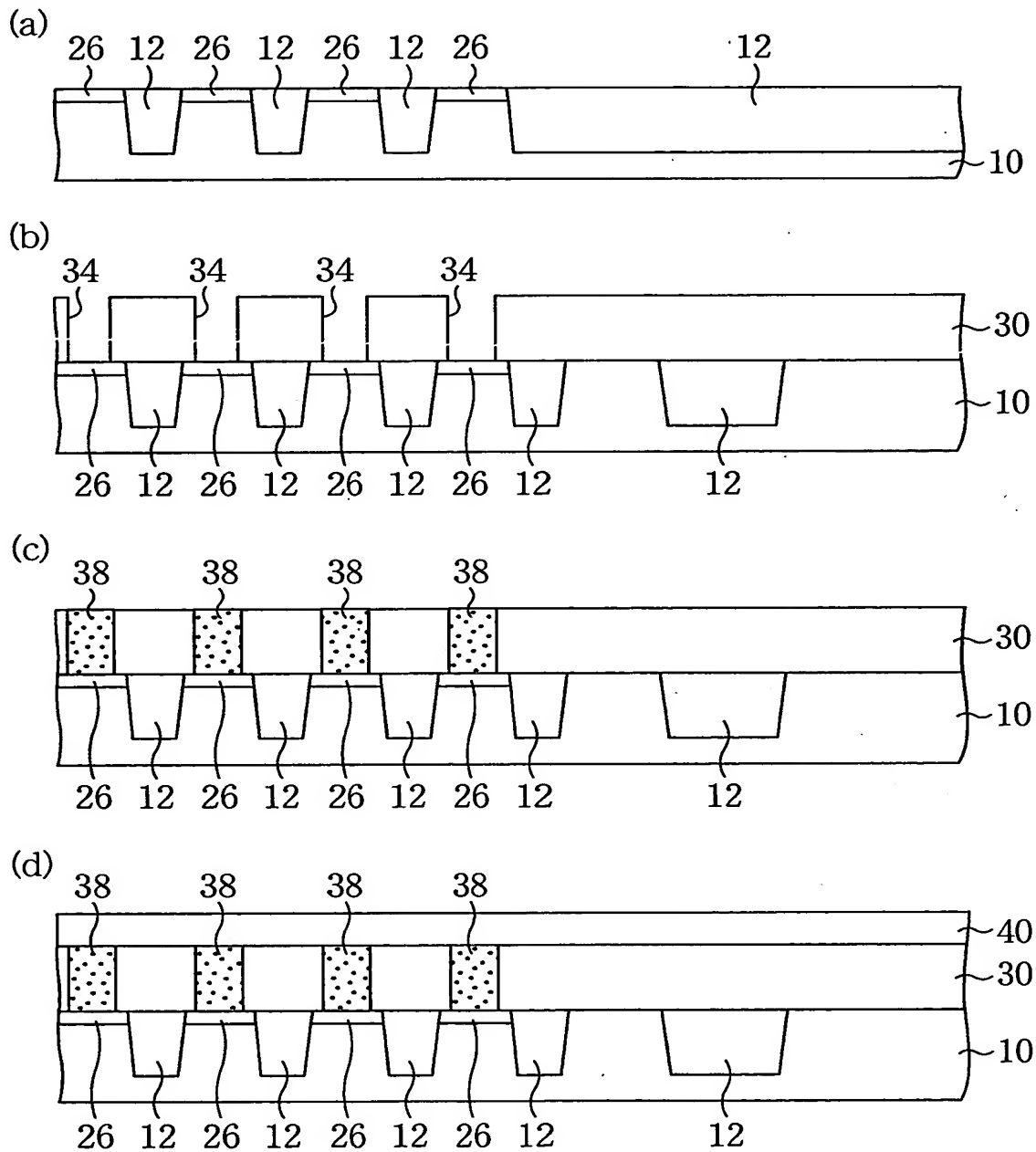
本発明の第1実施形態による半導体装置の製造方法を示す
工程断面図(その2)



36、38…プラグ
40…層間絶縁膜
48…ビット線
50…密着層
51、52…タングステン膜
54…シリコン窒化膜

【図 1 2】

本発明の第1実施形態による半導体装置の製造方法を示す
工程断面図(その3)



10…シリコン基板

12…素子分離膜

26…ソース/ドレイン拡散層

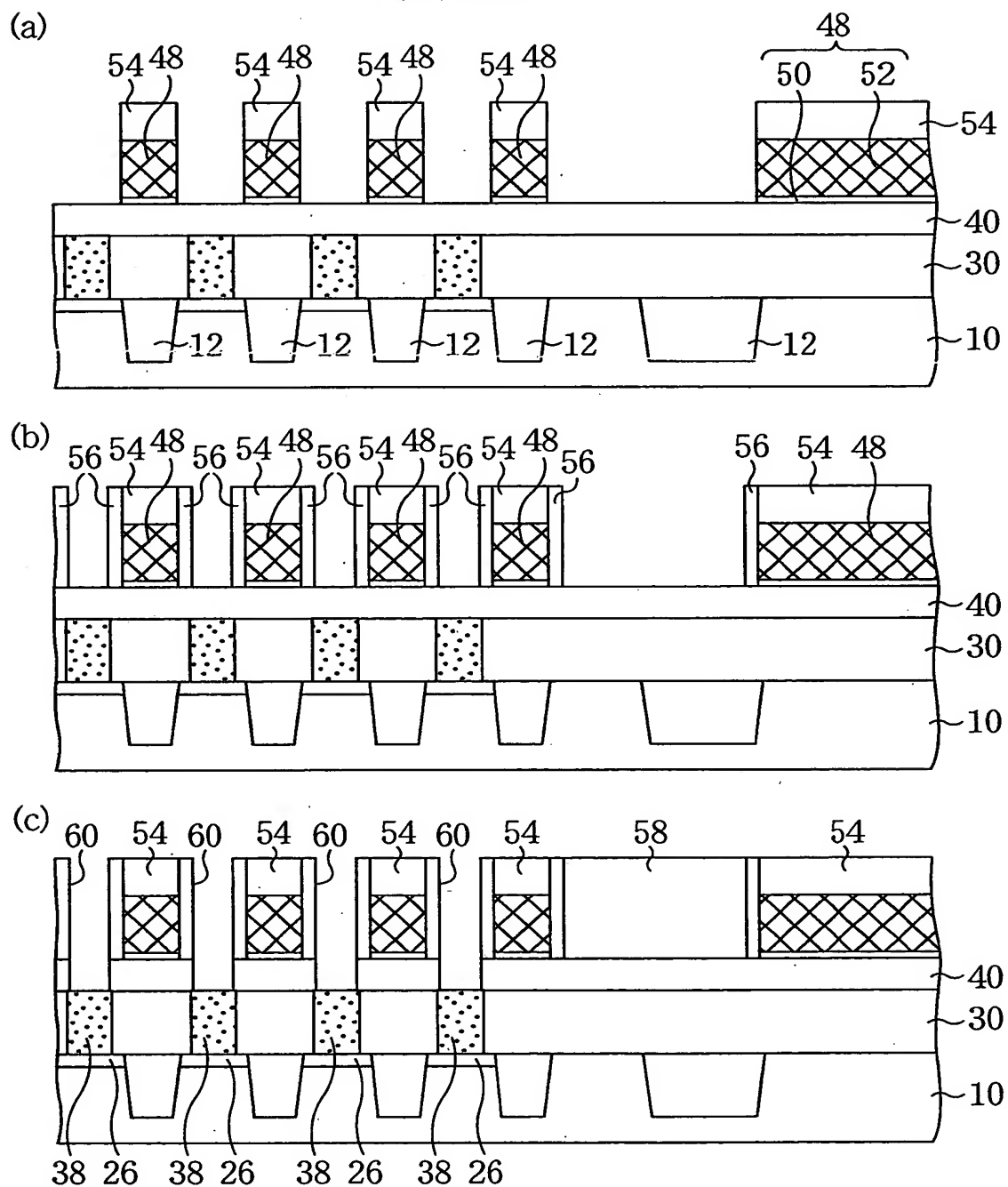
30、40…層間絶縁膜

34…コンタクトホール

38…プラグ

【図 1 3】

本発明の第1実施形態による半導体装置の製造方法を示す
工程断面図(その4)



48…ビット線

50…密着層

52…タングステン膜

54…シリコン窒化膜

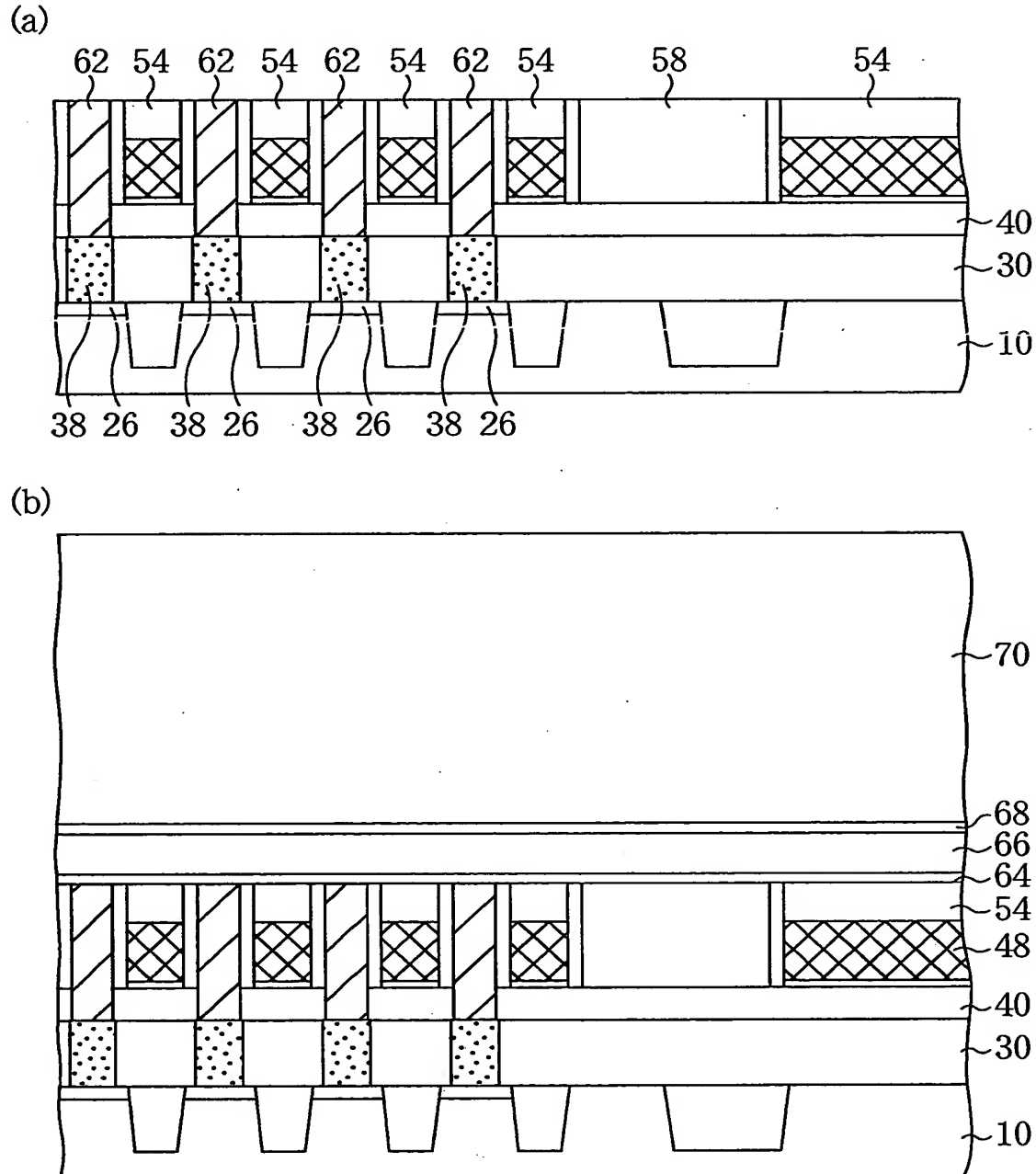
56…サイドウォール絶縁膜

58…層間絶縁膜

60…コンタクトホール

【図 1 4】

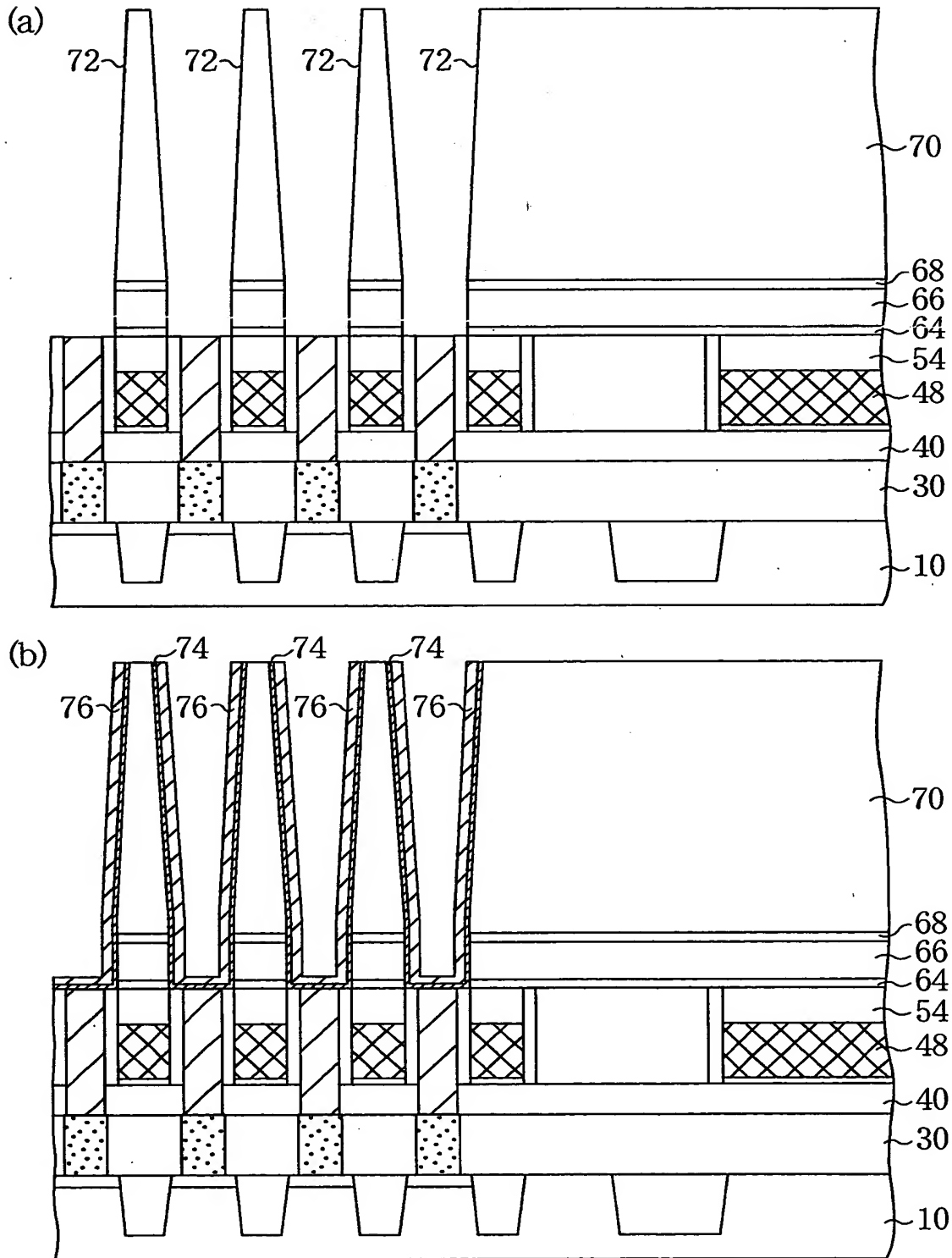
本発明の第1実施形態による半導体装置の製造方法を示す
工程断面図(その5)



62…プラグ
64、68…エッチングストッパ膜
66、70…層間絶縁膜

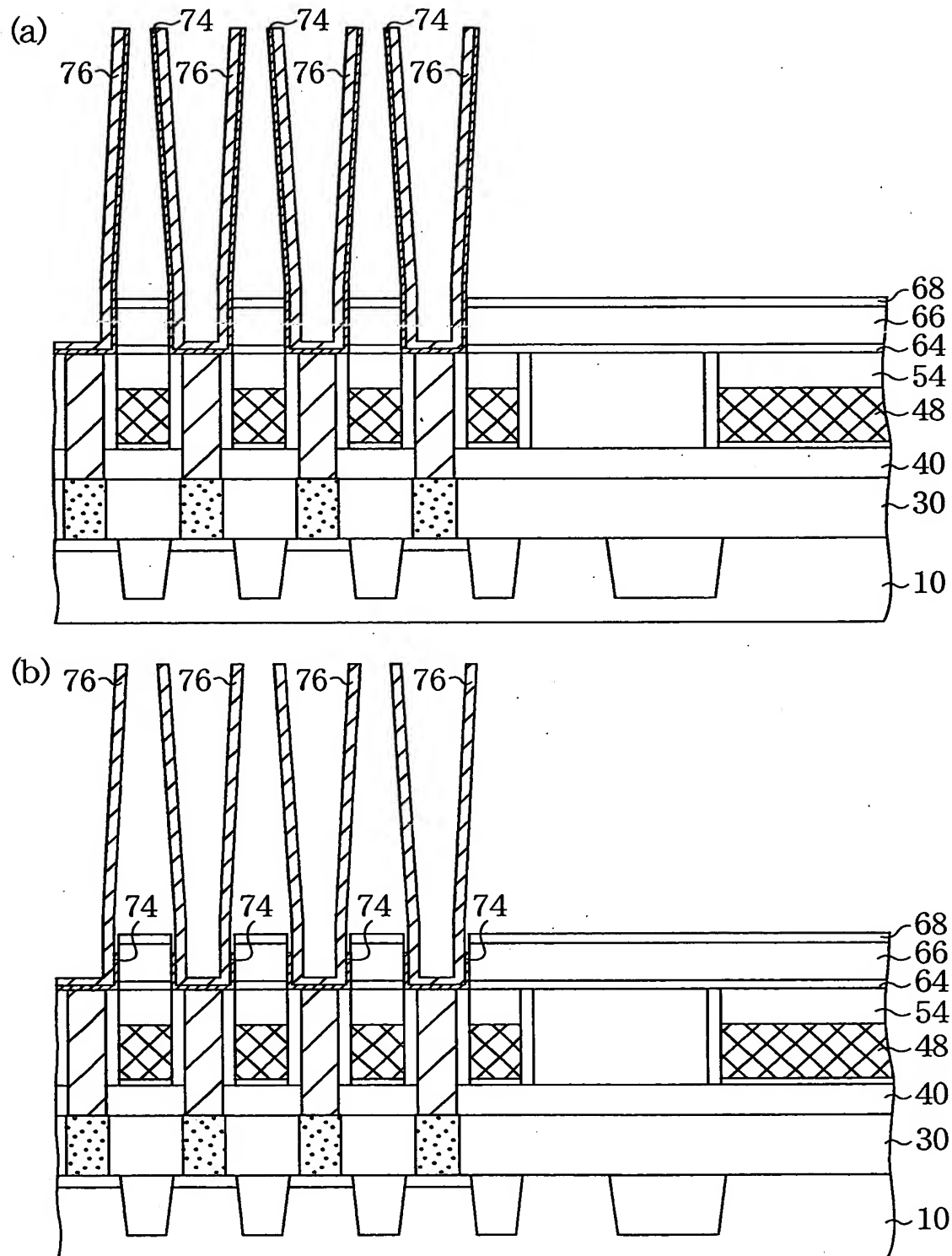
【図 1 5】

本発明の第1実施形態による半導体装置の製造方法を示す
工程断面図(その6)



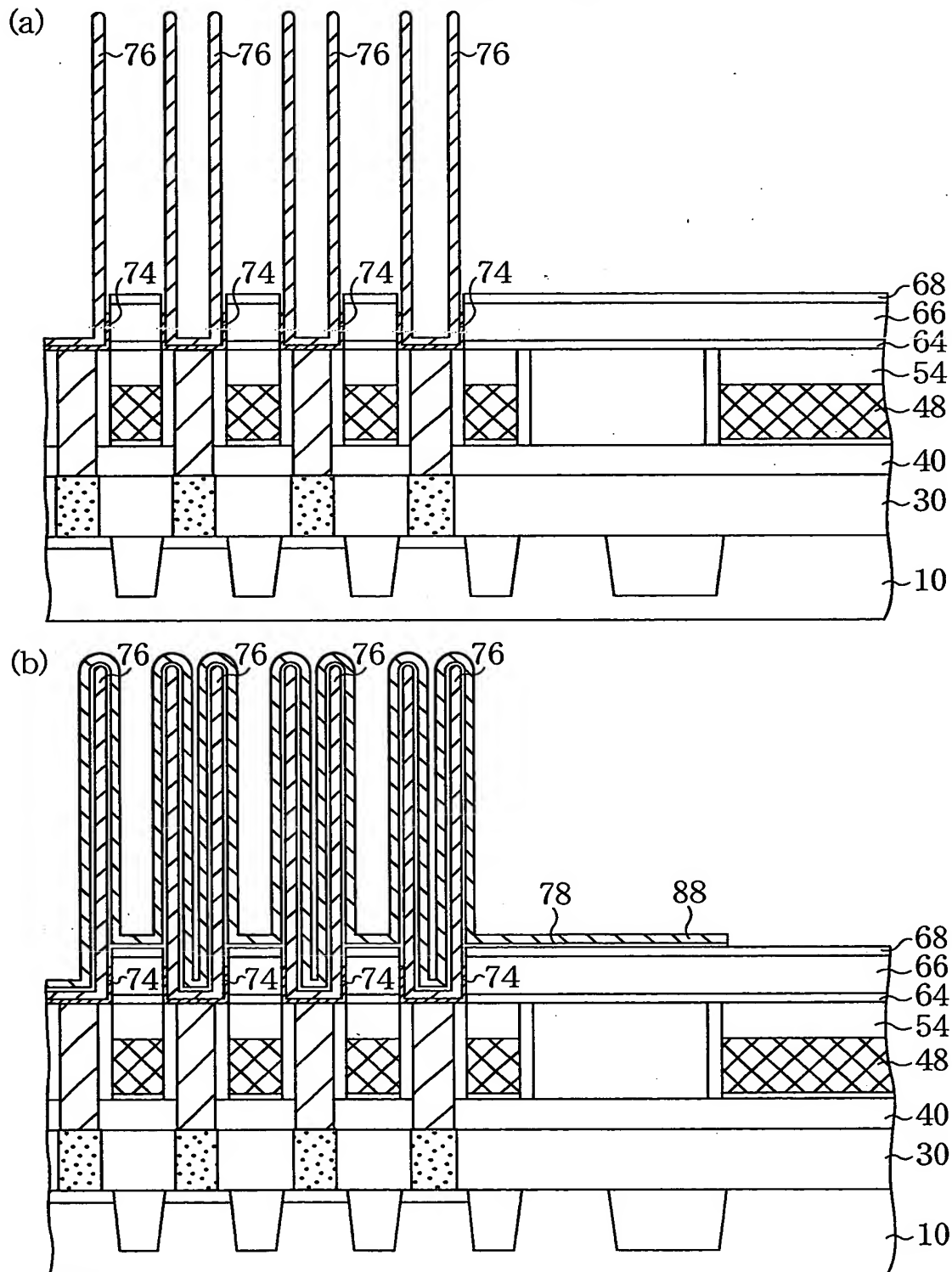
【図 1 6】

本発明の第1実施形態による半導体装置の製造方法を示す
工程断面図(その7)



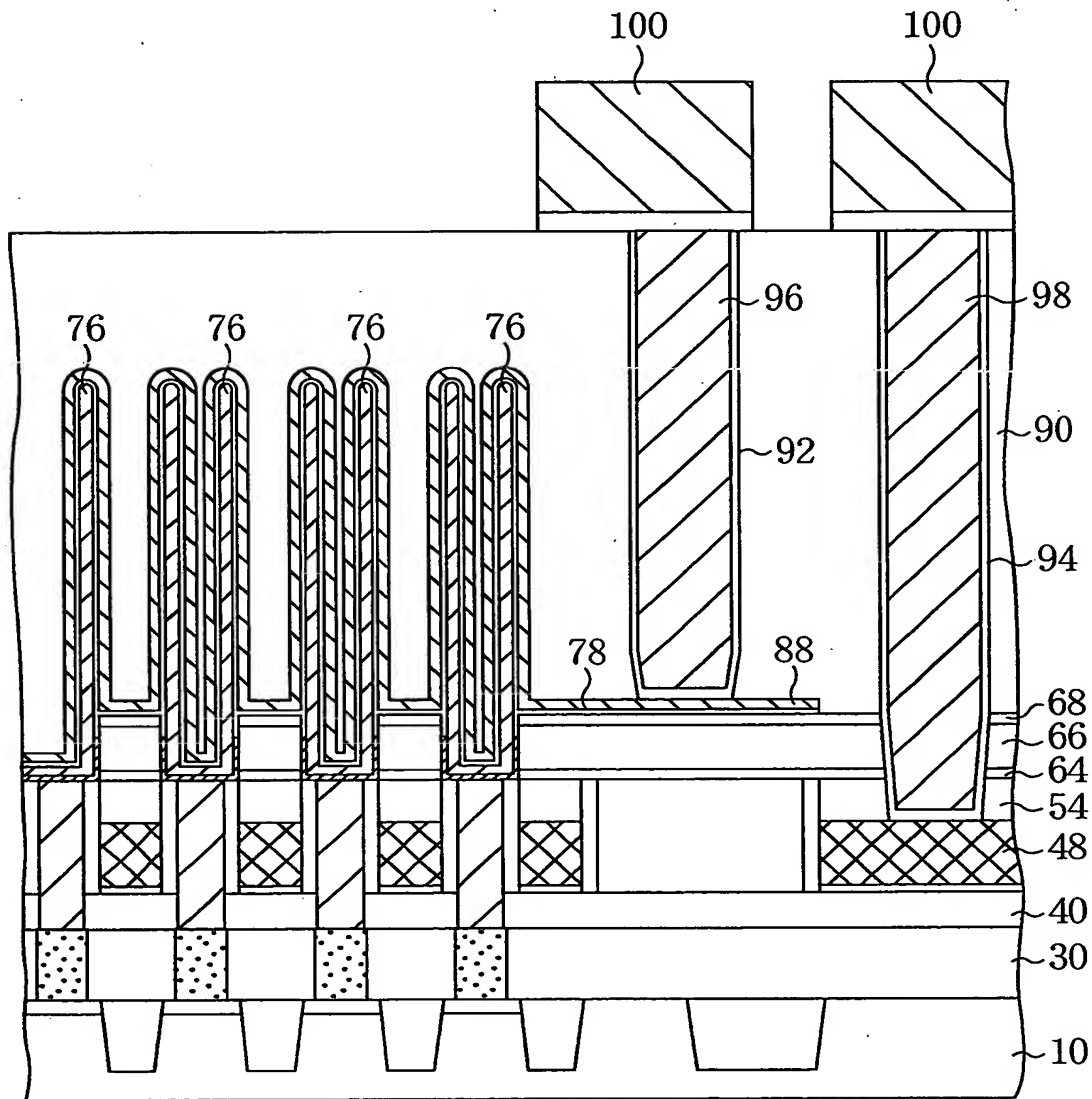
【図 1 7】

本発明の第1実施形態による半導体装置の製造方法を示す
工程断面図(その8)



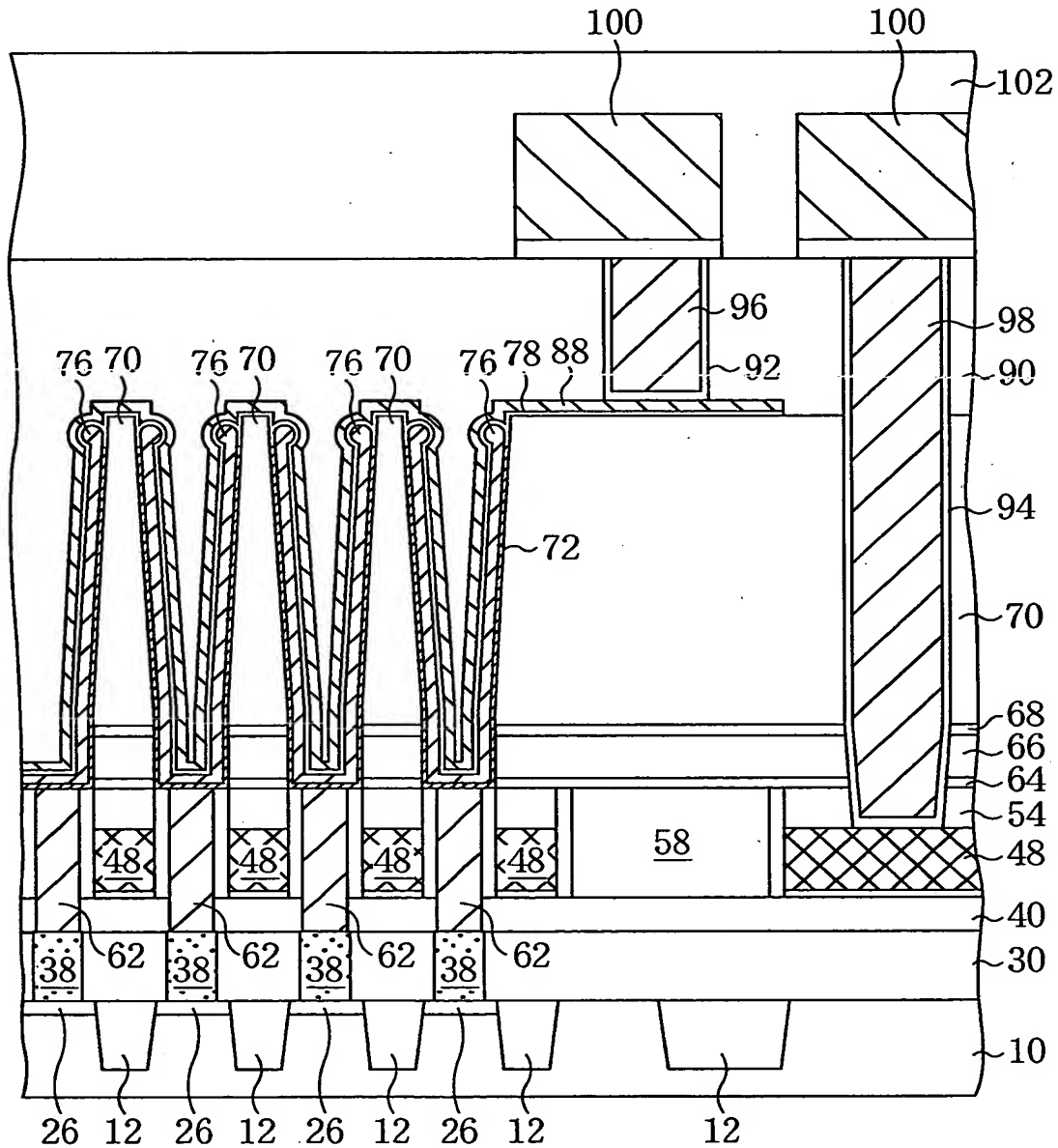
【図 1 8】

本発明の第1実施形態による半導体装置の製造方法を示す
工程断面図(その9)



【図19】

本発明の第2実施形態による半導体装置の構造を示す概略断面図

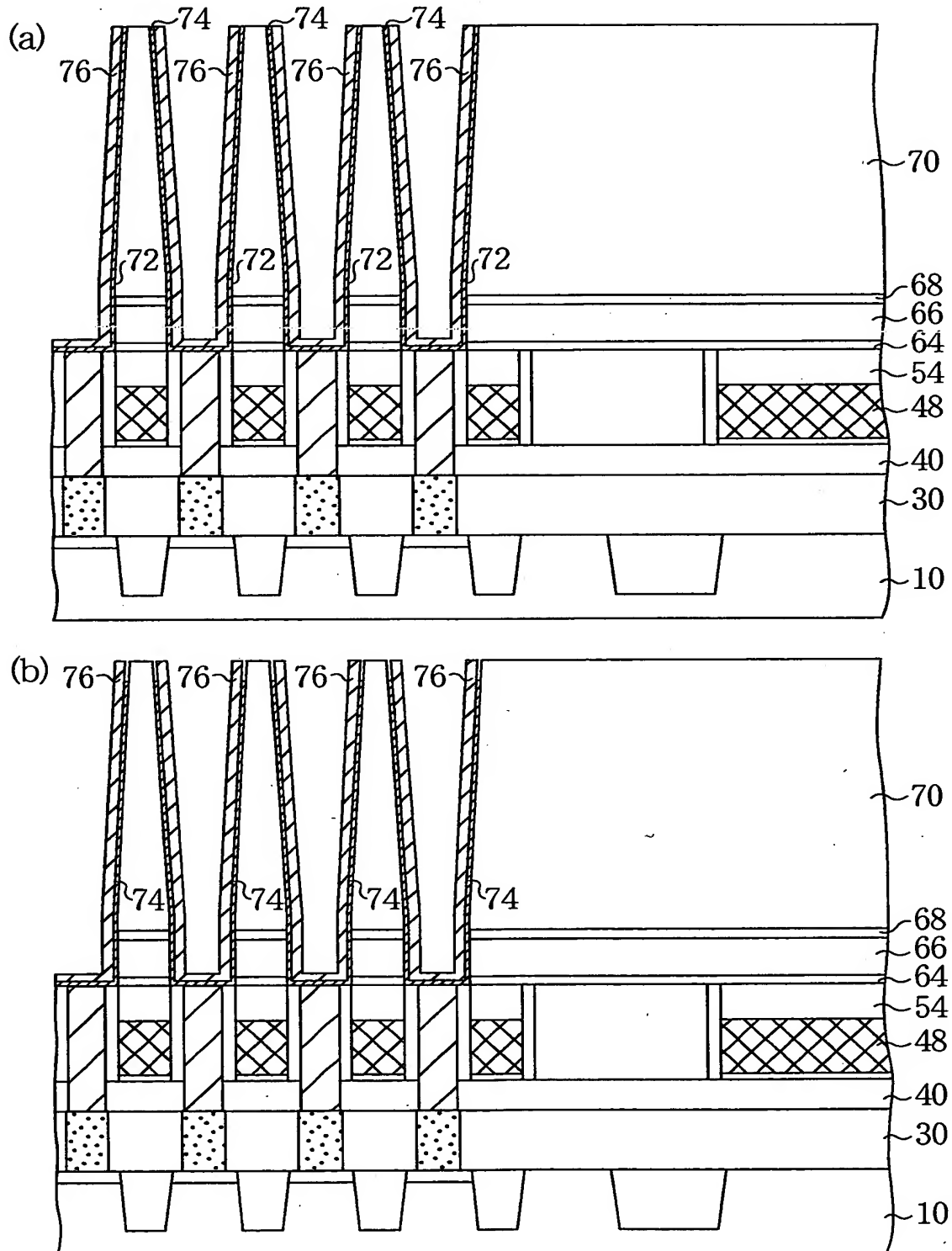


10…シリコン基板
12…素子分離膜
54…シリコン窒化膜
26…ソース/ドレイン拡散層
38、62、96、98…プラグ
48…ビット線
64、68…エッチングストップ膜

72…開口部
76…蓄積電極
78…キャパシタ誘電体膜
88…プレート電極
92、94…コンタクトホール
100…配線層

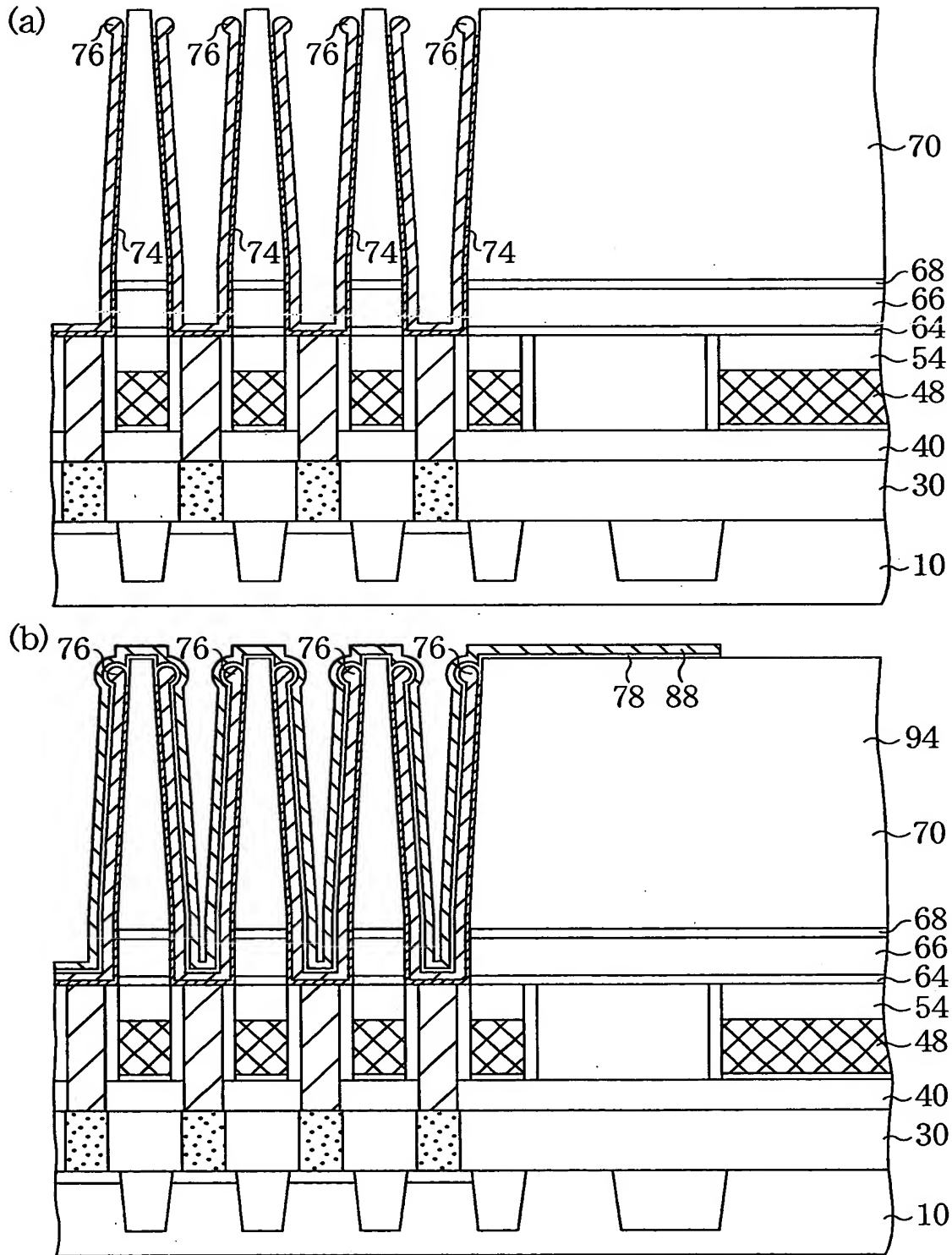
【図 2 0】

本発明の第2実施形態による半導体装置の製造方法を示す
工程断面図(その1)



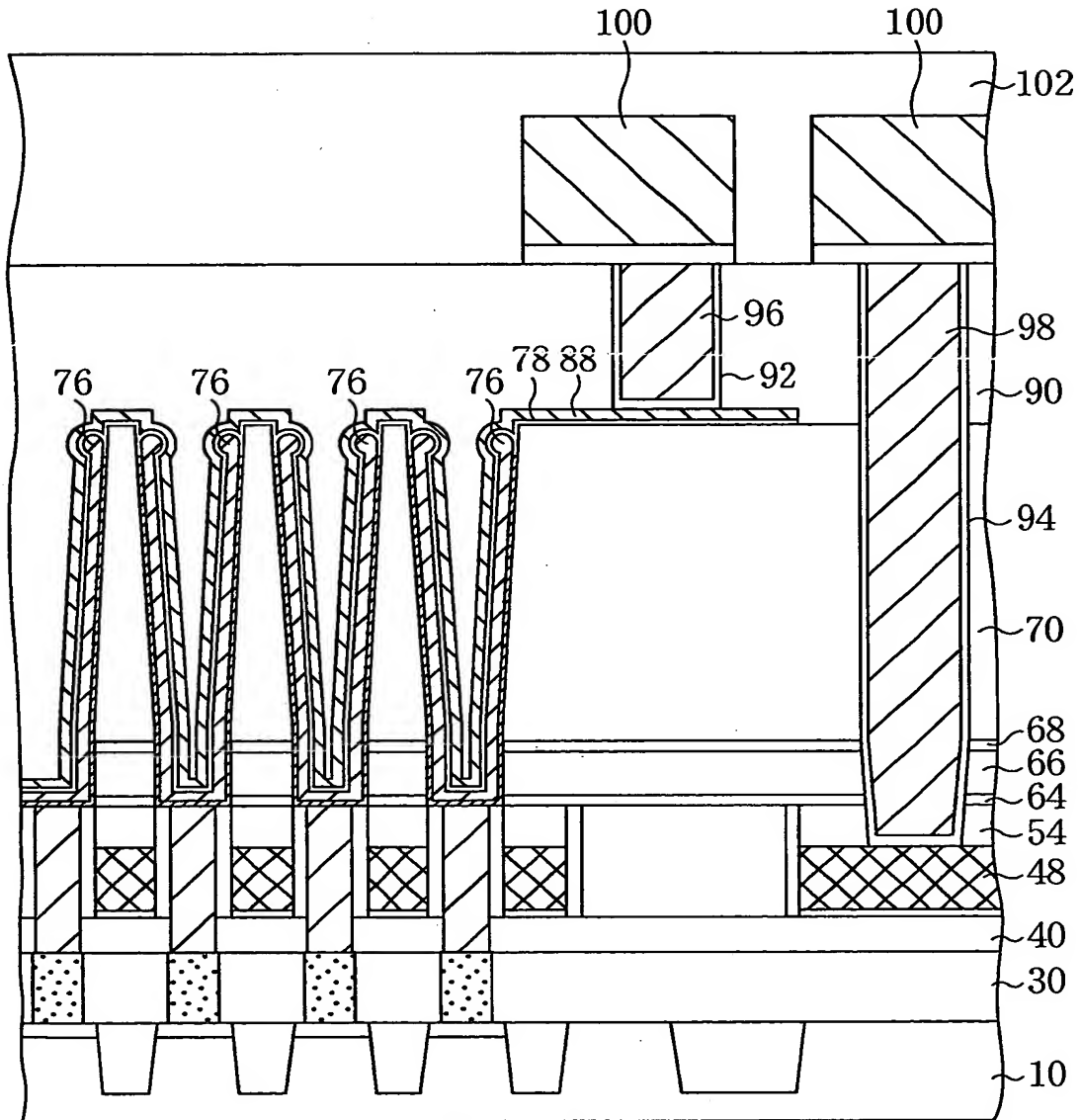
【図 2 1】

本発明の第2実施形態による半導体装置の製造方法を示す
工程断面図(その2)



【図 22】

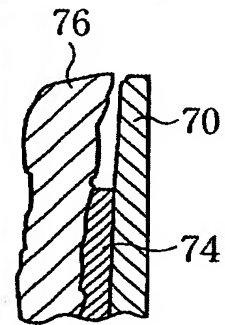
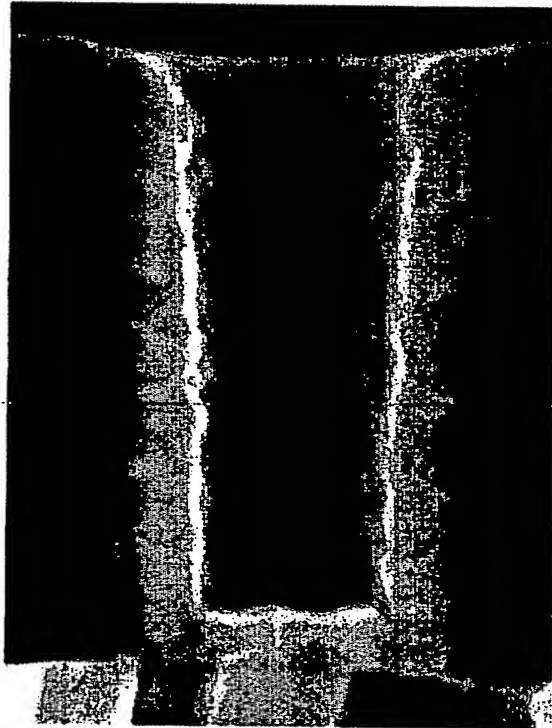
本発明の第2実施形態による半導体装置の製造方法を示す
工程断面図(その3)



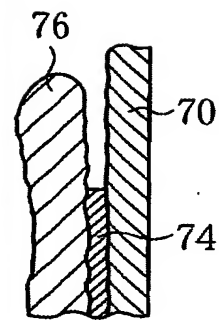
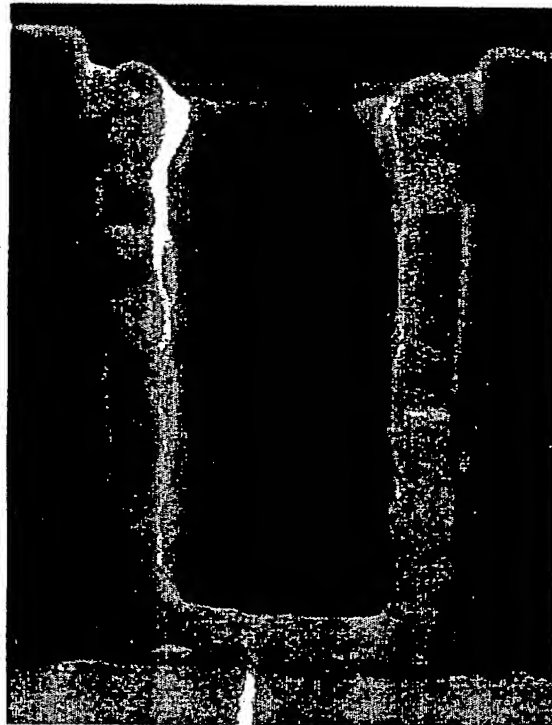
【図 2 3】

熱処理前後における蓄積電極の形状を示す断面SEM写真

(a)

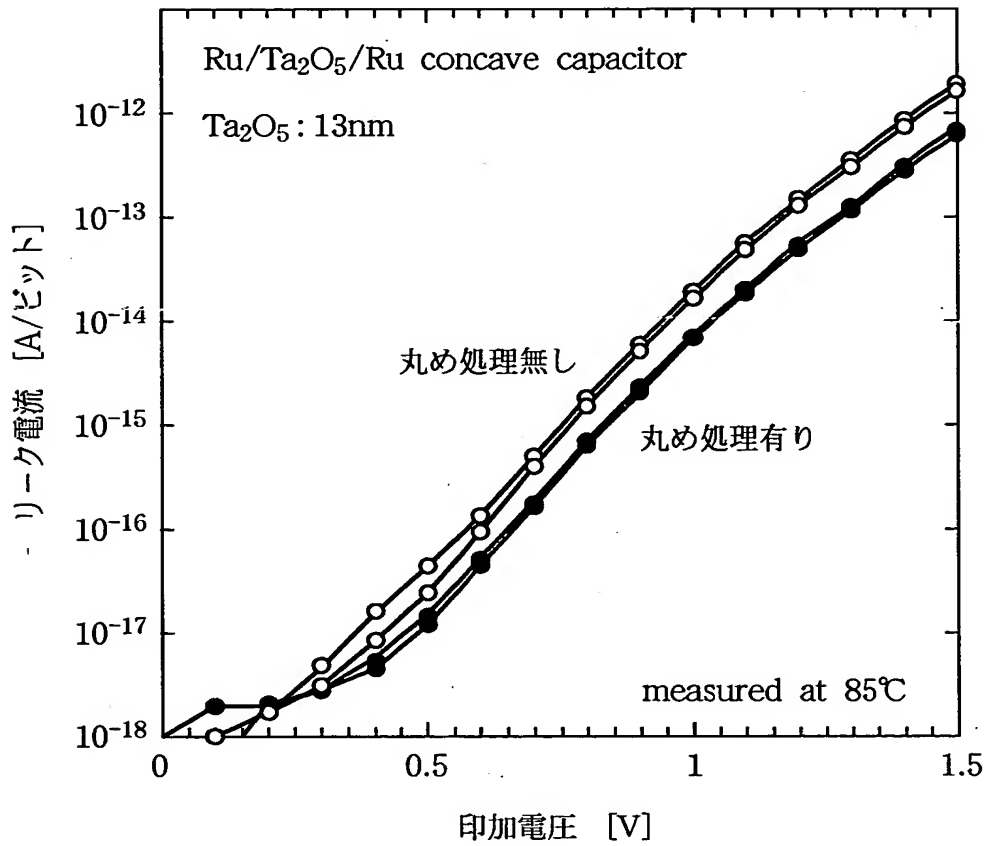


(b)



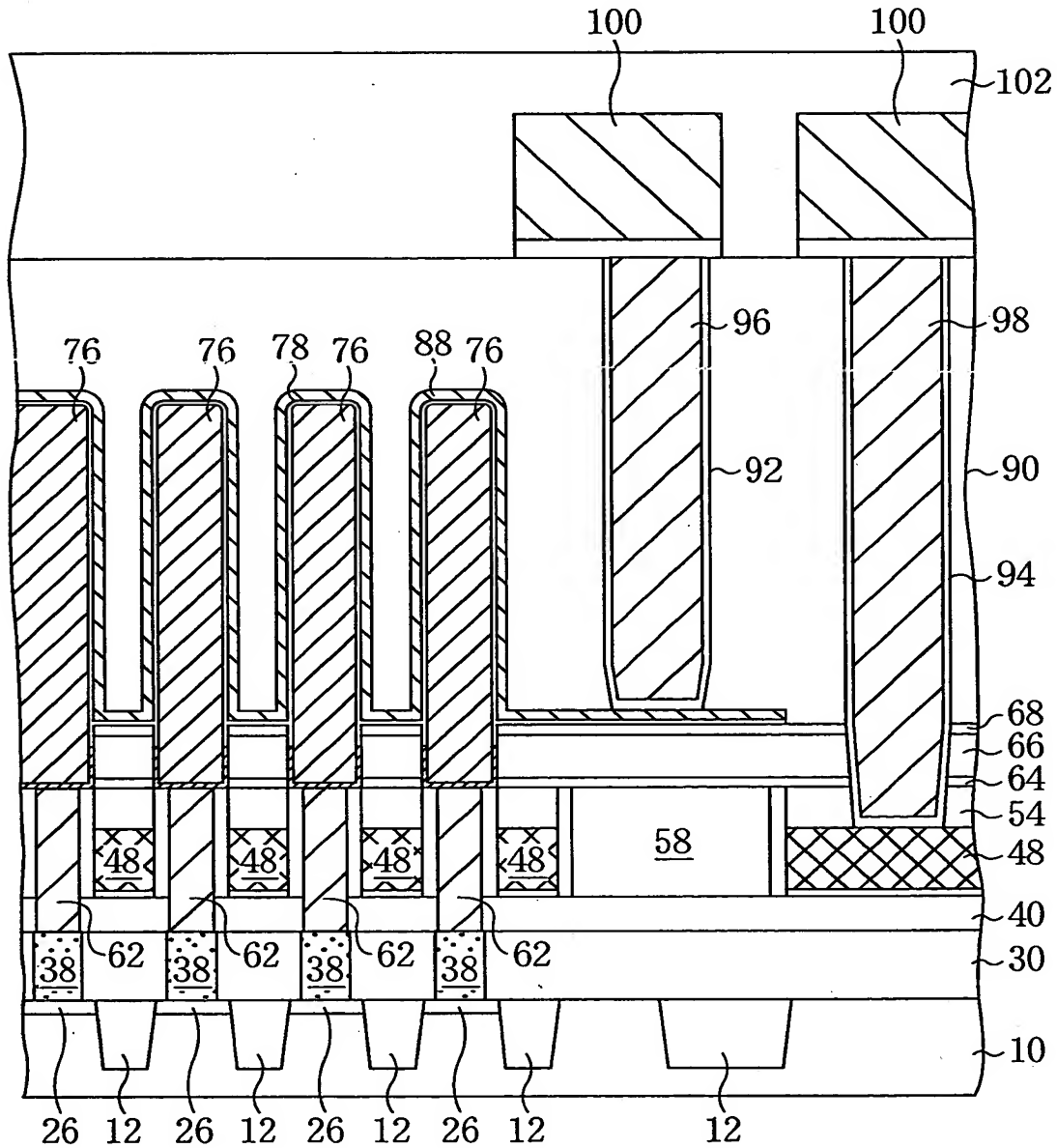
【図 2 4】

蓄積電極に丸みを付ける熱処理を行った試料と行わなかった試料とにおけるキャパシタのリーク電流特性を示すグラフ



【図 2 5】

本発明の実施形態の変形例による半導体装置の構造を示す概略断面図

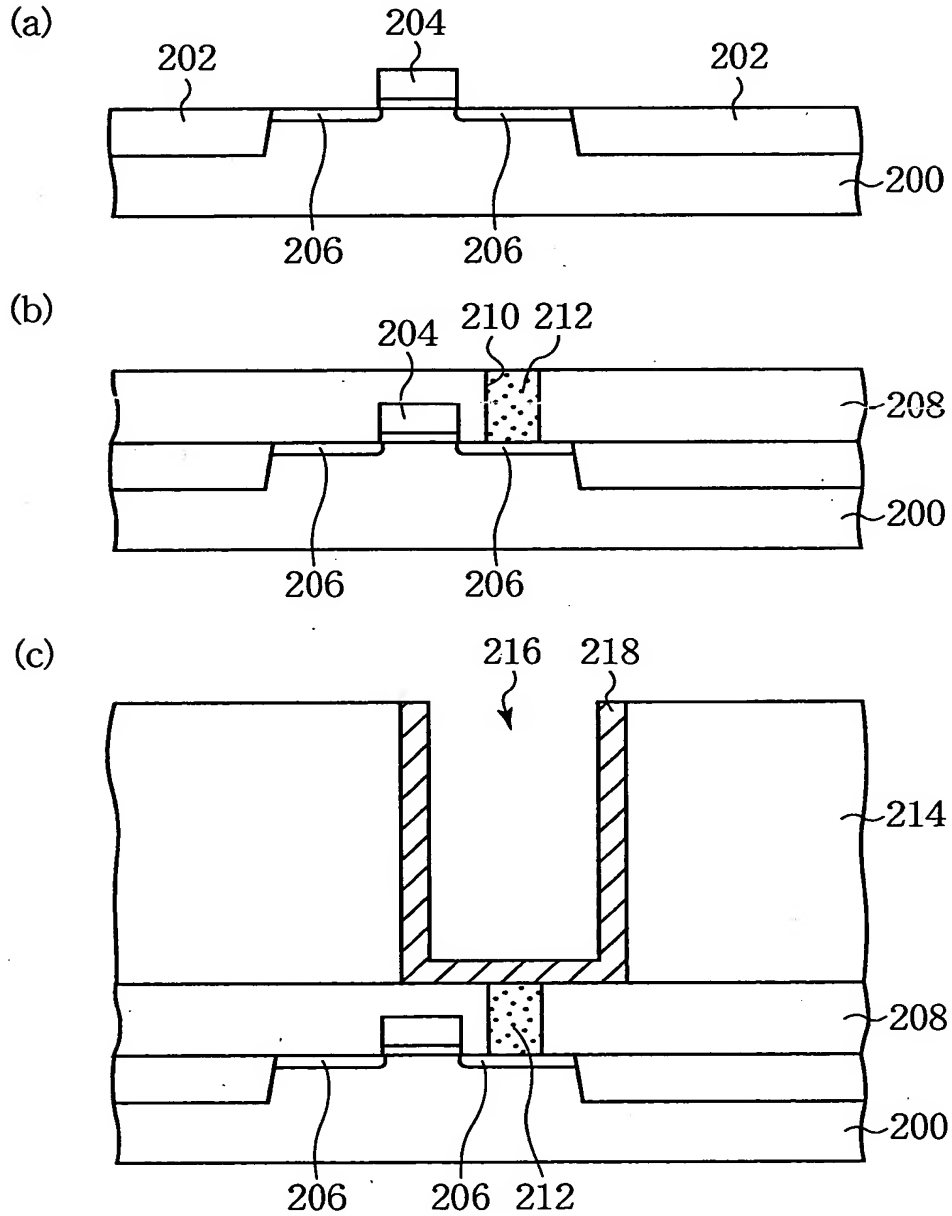


10…シリコン基板
12…素子分離膜
54…シリコン窒化膜
26…ソース/ドレイン拡散層
38、62、96、98…プラグ
48…ビット線

64、68…エッチングストップパ膜
76…蓄積電極
78…キャパシタ誘電体膜
88…プレート電極
92、94…コンタクトホール
100…配線層

【図 2 6】

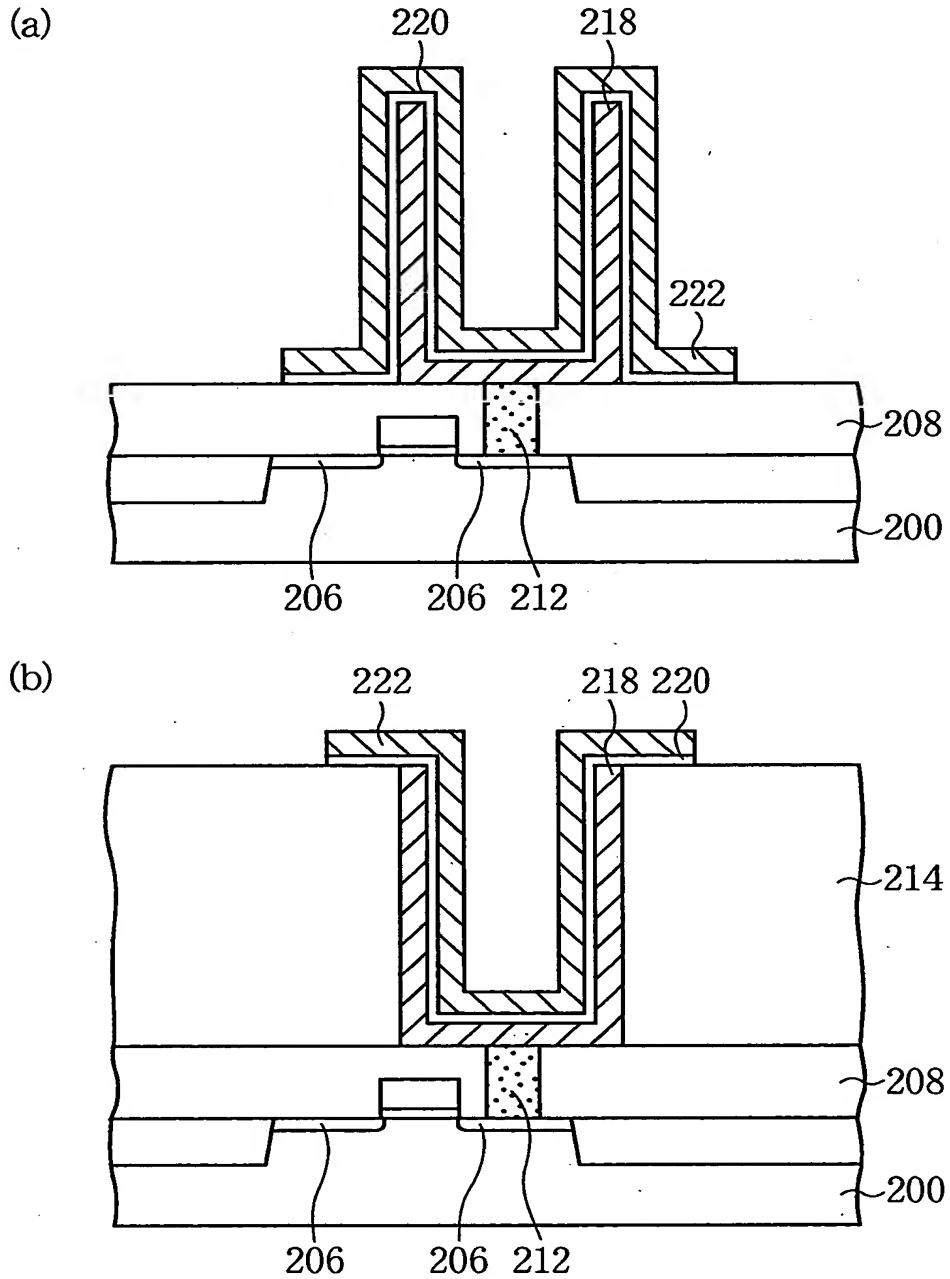
従来の半導体装置の製造方法を示す工程断面図(その1)



- | | |
|-----------------|--------------|
| 200…シリコン基板 | 210…コンタクトホール |
| 202…素子分離膜 | 212…プラグ |
| 204…ゲート電極 | 216…開口部 |
| 206…ソース/ドレイン拡散層 | 218…蓄積電極 |
| 208、214…層間絶縁膜 | |

【図 2 7】

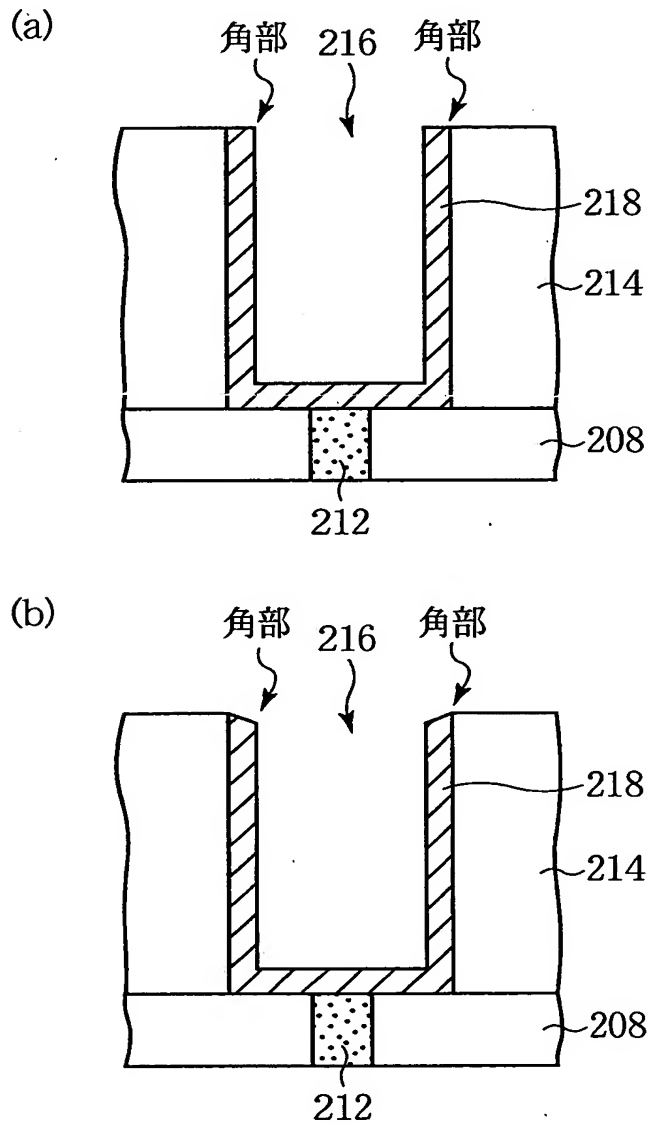
従来の半導体装置の製造方法を示す工程断面図(その2)



220…キャパシタ誘電体膜
222…プレート電極

【図 2 8】

従来の半導体装置における課題を説明する図



200…シリコン基板
 208、214…層間絶縁膜
 216…開口部
 218…蓄積電極

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 柱状又は円筒形状の蓄積電極を利用したキャパシタを有する半導体装置において、蓄積電極上端部における電界集中を緩和してキャパシタの絶縁性を向上する。

【解決手段】 蓄積電極 7 6 と、蓄積電極 7 6 上に形成されたキャパシタ誘電体膜 7 8 と、キャパシタ誘電体膜 7 8 上に形成されたプレート電極 8 8 とからなるキャパシタを有する半導体装置において、蓄積電極 7 6 の上端部を丸くし、蓄積電極 7 6 の上端部の厚さが他の領域の厚さよりも厚くなるように構成する。

【選択図】 図 1 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日

[変更理由] 住所変更

住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

氏 名 富士通株式会社